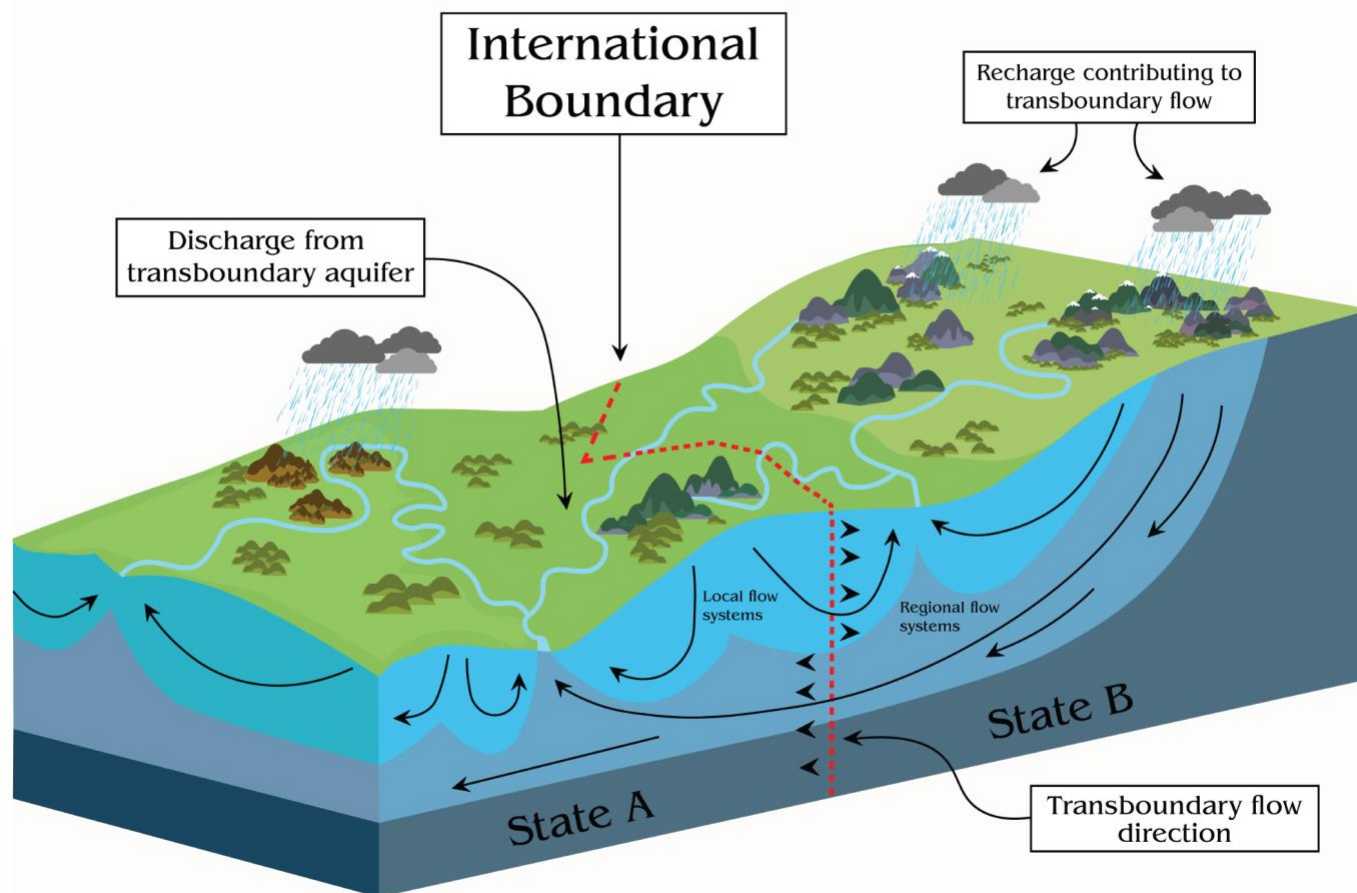




Aquíferos e Impactos Transfronteiriços:

Caracterizando a Responsabilidade Internacional e a Responsabilidade pelos Danos

Gabriel Eckstein e Yoram Eckstein
Tradutora: Pilar Carolina Villar

*Aquíferos e Impactos
Transfronteiriços:
Caracterizando a
Responsabilidade
Internacional e a
Responsabilidade pelos
Danos*

The Groundwater Project

Gabriel Eckstein

*Professor de Direito
Programa de Direito de Sistemas de Recursos Naturais, Energia e
Ambiente
Texas A&M University School of Law
Fort Worth, Texas, USA*

Yoram Eckstein

*Professor de Hidrogeologia
Kent State University
Kent, Ohio, USA*

Tradutora: Pilar Carolina Villar

***Aquíferos e Impactos
Transfronteiriços:
Caracterizando a responsabilidade
internacional e a responsabilidade
pelos danos***

*The Groundwater Project
Guelph, Ontario, Canada*

O Groundwater Project depende de financiamento privado para a produção de livros e a gestão do Projeto.

Por favor, [considere fazer uma doação ao Groundwater Project](#)[↗], para que os nossos livros continuem sendo disponibilizados gratuitamente.

Obrigado

Todos os direitos reservados. Esta publicação é protegida por direitos autorais. Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida de qualquer forma ou por qualquer meio sem permissão por escrito dos autores (para solicitar permissão, entre em contato: permissions@gw-project.org). A distribuição e reprodução comercial são estritamente proibidas.

Os trabalhos do Groundwater Project (The GW Project) são protegidos por direitos autorais e podem ser baixados gratuitamente gw-project.org. Qualquer pessoa pode usar e compartilhar os links do gw-project.org para baixar trabalhos do GW-Project. Não é permitido disponibilizar os documentos do GW Project em outros sites, nem enviar cópias dos documentos diretamente para outras pessoas. Por favor, honre esta fonte de conhecimento gratuito que beneficia você e todos aqueles que desejam aprender sobre águas subterrâneas.

Copyright © 2024 Gabriel Eckstein e Yoram Eckstein (Os Autores)

Publicado por Groundwater Project, Guelph, Ontario, Canadá, 2024.

Cross-Border Impacts Related to Transboundary Aquifers: Characterizing Legal Responsibility and Liability / Gabriel Eckstein, Yoram Eckstein – Guelph, Ontario, Canada, 2024.

Aquíferos e Impactos Transfronteiriços: Caracterizando a Responsabilidade Internacional e a Responsabilidade pelos Danos
112 páginas

ISBN: 978-1-77470-065-5

DOI : <https://doi.org/10.21083/978-1-77470-065-5>.

Por favor, considere inscrever-se na lista de e-mails do GW Project para se manter informado sobre novos lançamentos de livros, eventos e formas de participar do GW Project. Quando você se inscreve em nossa lista de e-mails, isso nos ajuda a construir uma comunidade global de águas subterrâneas. [Inscreva-se](#).

Citação formato APA (7th ed.):

Eckstein, G., & Eckstein, Y. (2024). *Cross-border impacts related to transboundary aquifers: Characterizing legal responsibility and liability*. The Groundwater Project. <https://doi.org/10.21083/978-1-77470-065-5>.



Editores de domínio: Eileen Poeter and John Cherry.

Diretores: John Cherry, Shafick Adams, Richard Jackson, Ineke Kalwij, Renée Martin-Nagle, Everton de Oliveira, Marco Petitta, and Eileen Poeter.

Imagem da Capa: Original do Groundwater Project, 2022.

Tradutora: Pilar Carolina Villar

Dedicatória

Este livro é minha última colaboração com meu pai, Yoram Eckstein (1938–2020). Dedico-o ao homem que me inspirou de tantas maneiras e que passou grande parte de sua vida dedicando-se à pesquisa, educação e ao compartilhamento do conhecimento em hidrogeologia.

Gabriel Eckstein

Sumário

DEDICATÓRIA	V
SUMÁRIO	VI
PREFÁCIO DO GROUNDWATER PROJECT	VII
PREFÁCIO VERSÃO ORIGINAL	IX
PREFÁCIO DA VERSÃO TRADUZIDA	XI
AGRADECIMENTOS	XII
1 INTRODUÇÃO	1
2 O DILEMA DE MISTURAR ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E DIREITO	12
3 O DIREITO QUE GOVERNA OS AQUÍFEROS QUE ATRAVESSAM LIMITES POLÍTICOS	15
4 CARACTERIZANDO A RESPONSABILIDADE E A REPARAÇÃO PELOS IMPACTOS TRANSFRONTEIRIÇOS	17
4.1 MODELO A: AQUÍFERO LIVRE TRANSFRONTEIRIÇO HIDROLOGICAMENTE CONECTADO A UM RIO TRANSFRONTEIRIÇO CONTÍGUO	17
4.2 MODELO B: AQUÍFERO LIVRE TRANSFRONTEIRIÇO CONECTADO HIDROLOGICAMENTE A UM RIO SUCESSIVO TRANSFRONTEIRIÇO.....	38
4.3 MODELO C: AQUÍFERO LIVRE TRANSFRONTEIRIÇO CONECTADO HIDROLOGICAMENTE A UM RIO DOMÉSTICO.....	48
4.4 MODELO D: AQUÍFERO LIVRE DOMÉSTICO HIDROLOGICAMENTE CONECTADO A UM RIO TRANSFRONTEIRIÇO	59
4.5 MODELO E: AQUÍFERO TRANSFRONTEIRIÇO CONFINADO COM ZONA DE RECARGA EM APENAS UMA JURISDIÇÃO RIBEIRINHA.....	67
4.6 MODELO F: AQUÍFERO TRANSFRONTEIRIÇO NÃO RECARREGÁVEL.....	74
5 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS PARA DETERMINAÇÃO DE RESPONSABILIDADE E COMPENSAÇÃO ...	85
6 CONCLUSÃO	86
7 EXERCÍCIOS.....	87
EXERCÍCIO 1 - O AQUÍFERO LIVRE LEO.....	87
EXERCÍCIO 2 - O RIO ZINI E O AQUÍFERO YAROW	90
8 REFERÊNCIAS	92
9 RESPOSTAS DOS EXERCÍCIOS	98
RESPOSTA DO EXERCÍCIO 1	99
RESPOSTA DO EXERCÍCIO 2	104
10 SOBRE OS AUTORES	110
11 SOBRE O TRADUTOR	111

Prefácio do Groundwater Project

A Cúpula da ONU-Água sobre Águas Subterrâneas, realizada nos dias 7 e 8 de dezembro de 2022, na Sede da UNESCO em Paris, França, concluiu com um chamado aos Governos e outros interessados para intensificarem os esforços para melhor gerenciar as águas subterrâneas. A intenção do chamado à ação foi informar sobre as discussões relevantes na Conferência da ONU sobre a Água de 2023, realizada de 22 a 24 de março de 2023, na Sede da ONU na cidade de Nova York. Uma das ações necessárias é o fortalecimento da capacidade humana e institucional, para a qual a educação sobre águas subterrâneas é fundamental.

O tema do Dia Mundial da Água de 2024 é "Água para a Paz", que enfoca o papel crítico que a água desempenha na estabilidade e prosperidade do mundo. O site da ONU Água afirma que mais de 3 bilhões de pessoas em todo o mundo dependem de águas que atravessam fronteiras nacionais. Existem 468 aquíferos transfronteiriços; no entanto, a maioria desses aquíferos não possui um acordo de cooperação intergovernamental para o seu compartilhamento e gestão. As águas subterrâneas desempenham um papel fundamental na estabilidade e prosperidade global, bem como representam 99% de toda a água doce líquida, portanto estão no cerne da crise da água doce. As águas subterrâneas são um recurso de valor inestimável.

O Groundwater Project (GW Project) é uma instituição de caridade registrada no Canadá, fundada em 2018, comprometida com o avanço da educação sobre águas subterrâneas como meio de acelerar ações relacionadas a esses recursos hídricos essenciais. Estamos comprometidos em tornar as águas subterrâneas compreensíveis e, com isso, capacitar a construção da capacidade humana para o desenvolvimento sustentável e a gestão das águas subterrâneas. Para esse fim, o GW Project cria e publica livros de alta qualidade sobre todos os aspectos das águas subterrâneas, para todos que desejam aprender sobre o assunto. Nossos livros são únicos, pois sintetizam conhecimento, são rigorosamente revisados por pares, são traduzidos para muitos idiomas e são gratuitos. Um princípio importante dos livros do GW Project é a forte ênfase na visualização com ilustrações claras para estimular o pensamento espacial e crítico. O GW Project começou a publicar livros em agosto de 2020 e, até o final de 2023, havia publicado 44 livros originais e 58 traduções. Os livros estão disponíveis em gw-project.org.

O GW-Project personifica um novo tipo de empreendimento educacional global, possibilitado pelas contribuições de um grupo internacional dedicado de voluntários profissionais de diversas disciplinas. Acadêmicos, praticantes e aposentados contribuem escrevendo e/ou revisando livros voltados para diversos níveis de leitores, incluindo crianças, adolescentes, estudantes de graduação e pós-graduação, bem como profissionais nas áreas de águas subterrâneas e o público em geral. Mais de 1.000 voluntários dedicados de 70 países e seis continentes estão envolvidos — e a participação está crescendo. Edições

revisadas dos livros são publicadas de tempos em tempos. Os leitores são convidados a propor revisões.

Agradecemos aos nossos patrocinadores pelo apoio financeiro contínuo. Por favor, considere fazer uma doação ao GW-Project para que possamos continuar a publicação de livros gratuitamente.

A Diretoria do GW-Project, janeiro de 2024

Prefácio Versão Original

Seria razoável esperar que a competição entre os usuários de água se intensificasse, especialmente quando os fluxos de águas subterrâneas cruzam fronteiras políticas, porém verifica-se que, em vez de disputas, a cooperação é a norma. Na verdade, alguns acordos transfronteiriços permanecem em vigor há décadas, mesmo durante períodos de guerra. No entanto, a qualidade e o fornecimento de água continuam a apresentar desafios. À medida que o foco se volta mais para o desenvolvimento, proteção, uso e conservação, as Nações Unidas determinaram que são necessárias medidas mais rigorosas para garantir que os acordos sobre recursos de águas subterrâneas sejam executáveis e incluam disposições de resolução de conflitos.

Aquíferos e Impactos Transfronteiriços: Caracterizando a Responsabilidade Internacional e a Responsabilidade pelos Danos trata de aquíferos e sistemas aquíferos que se estendem por mais de um país: atualmente 468 aquíferos e sistemas de aquíferos foram identificados como transfronteiriços. Essa designação significa que a água subterrânea em um aquífero sob um país flui naturalmente para áreas sob um ou mais países vizinhos, assim como um rio pode fluir de um país para o outro.

Conflitos em relação às águas subterrâneas não ocorrem, se sua retirada em um país não influenciar as águas subterrâneas do país vizinho. No entanto, se—por exemplo—o efeito de rebaixamento devido à retirada de água subterrânea causar um aumento no fluxo de águas subterrâneas do país em posição superior para o país receptor, pode surgir um conflito de águas transfronteiriças. Da mesma forma, pode-se desenvolver um conflito de águas transfronteiriças, se as águas subterrâneas contaminadas de um país migrarem para o outro país.

Embora o número de aquíferos identificados como transfronteiriços envolva mais de cem países, os aspectos legais estão pouco desenvolvidos e, fora dos Estados Unidos, precedentes legais não foram estabelecidos por meio de mecanismos formais de resolução de disputas. Neste livro, os autores se concentram nos conceitos de responsabilidade internacional e responsabilidade de reparar o dano em diversas circunstâncias transfronteiriças e apresentam numerosos cenários. Em cada exemplo hipotético, o quadro hidrogeológico é apresentado como um esboço tridimensional de forma a ilustrar visualmente as circunstâncias das fronteiras dos países em relação ao fluxo de águas subterrâneas ou plumas de contaminantes. Os modelos fornecem uma estrutura para desenvolver o pensamento espacial entre os leitores como base para compreender a noção de responsabilidade legal em relação à causa e efeito. Este é o primeiro de um par de livros do Groundwater Project sobre águas subterrâneas transfronteiriças; o segundo—que será lançado em breve—é *Identifying International Legal Trends for Managing Transboundary Groundwater Resources* (Eckstein, no prelo).

Os autores deste livro são pai e filho, com mais de 75 anos de experiência prática, de campo e acadêmica combinada. Dr. Gabriel Eckstein é professor de direito na *Texas A&M University* e passou mais de 25 anos ensinando, pesquisando e praticando direito e políticas de recursos hídricos em níveis nacional e internacional. Dr. Yoram Eckstein (1938–2020) foi professor de hidrogeologia na *Kent State University* e passou mais de 50 anos ensinando, pesquisando e realizando trabalhos de campo em diversos países ao redor do mundo. Juntos, neste livro, eles apresentam a base para uma compreensão e aplicação mais amplas dos fatores que precisam ser considerados em disputas e acordos sobre águas subterrâneas transfronteiriças, bem como no direito e políticas internacionais.

John Cherry, Líder do Groundwater Project
Guelph, Ontario, Canadá, Dezembro de 2023

Prefácio da Versão Traduzida

Recursos hídricos subterrâneos que atravessam fronteiras políticas são atualmente reconhecidos como fontes críticas de água doce em todo o mundo. Isso criou situações em que o uso, gestão, exploração, poluição ou administração de um aquífero transfronteiriço poderia resultar em consequências negativas para um ou mais estados vizinhos.

Utilizando vários modelos conceituais de aquíferos transfronteiriços para avaliar as relações de causa e efeito, este livro explora as questões de responsabilidade e suas consequências, descrevendo diversos cenários e exemplos em que um Estado pode ser legalmente responsável perante um Estado vizinho por atividades relacionadas a um aquífero transfronteiriço. A análise é inteiramente fundamentada na ciência da hidrogeologia e utiliza conceitos de relações de ganho e perda de fluxo de água, aquíferos livres e confinados, cones de depressão e áreas de influência, contaminação natural versus antropogênica e outros conceitos hidrogeológicos para explicar os diversos cenários e circunstâncias que podem resultar em responsabilidade internacional e responsabilidade pela reparação do dano transfronteiriços.

Ao concluir este livro, o leitor será capaz de:

1. identificar potenciais consequências transfronteiriças resultantes do uso, gestão e má gestão dos recursos de águas subterrâneas e aquíferos transfronteiriços;
2. compreender os conceitos de responsabilidade internacional e responsabilidade pela reparação do dano no contexto das águas subterrâneas e aquíferos transfronteiriços; e
3. aplicar os conceitos de responsabilidade internacional e responsabilidade pelos danos em diversas circunstâncias e cenários transfronteiriços.

Agradecimentos

Agradecemos profundamente as revisões minuciosas e valiosas, bem como as contribuições para este livro, feitas pelos seguintes indivíduos:

- ❖ Claire Tiedeman, Cientista Emérita, US Geological Survey;
- ❖ Jean Fried, Cientista de Projetos, University of California Irvine, Califórnia, EUA;
- ❖ Alfonso Rivera, Presidente da Comissão de Aquíferos Transfronteiriços da IAH; Ex-Chefe Hidrogeólogo do Geological Survey of Canada, Ottawa, Ontário, Canadá;
- ❖ Dave Owens, Professor de Direito, UC Hastings Law, São Francisco, Califórnia, EUA;
- ❖ Kevin Pietersen, Professor Sênior, University of the Western Cape, Cidade do Cabo, República da África do Sul; e
- ❖ Everton de Oliveira, Presidente da Hidroplan, Diretor Presidente do Instituto Água Sustentável, São Paulo, Brasil.

Agradecemos a Arielle Kalin por trabalhar conosco na criação de excelentes figuras para este livro. Sou grato a Amanda Sills e à equipe de formatação pela supervisão e revisão deste livro. Agradecemos a Eileen Poeter (Colorado School of Mines, Golden, Colorado, EUA) por revisar, editar e produzir este livro.

As fontes das figuras e tabelas são citadas quando adaptadas de outros trabalhos publicados. Onde uma fonte não é citada, as figuras ou tabelas são originais deste livro.

1 Introdução

Os recursos hídricos subterrâneos que atravessam fronteiras políticas (aquéferos transfronteiriços ou ATFs; **Figura 1**) tornaram-se fontes de água doce cada vez mais importantes nas arenas internacionais e nacionais em todo o mundo. Esse foco crescente é uma extensão direta das necessidades crescentes de nações e comunidades por novas fontes de água, bem como do impacto que a extração excessiva, poluição, mudanças climáticas e outras atividades antropogênicas têm tido sobre as águas superficiais (Mukherjee et al., 2021). O crescente foco nos ATFs se dá também diante da crescente percepção de que as águas subterrâneas não respeitam fronteiras políticas e de que os aquíferos atravessam linhas jurisdicionais em todos os níveis da geografia política e da sociedade civil.

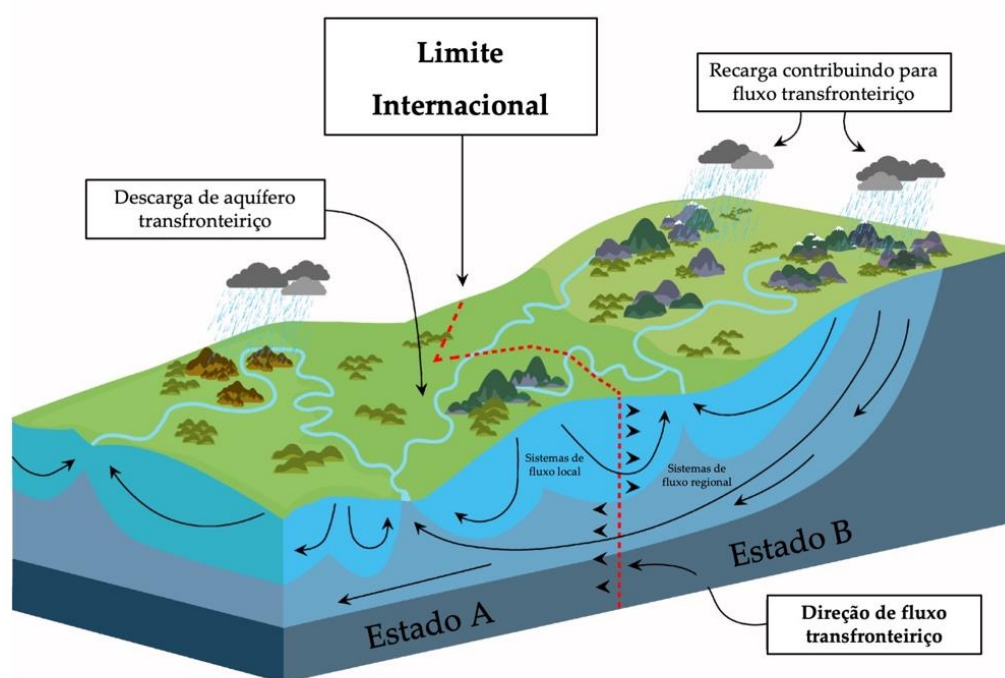


Figura 1 - Exemplo de um aquífero transfronteiriço atravessando uma fronteira internacional.

O mapa produzido pelo Centro Internacional de Avaliação de Recursos de Águas Subterrâneas (IGRAC) mostra os 468 aquíferos e sistemas de aquíferos transfronteiriços — aqueles que foram identificados globalmente até 2021 são mostrados na **Figura 2**, **Figura 3**, **Figura 4**, **Figura 5**, **Figura 6** e **Figura 7**.

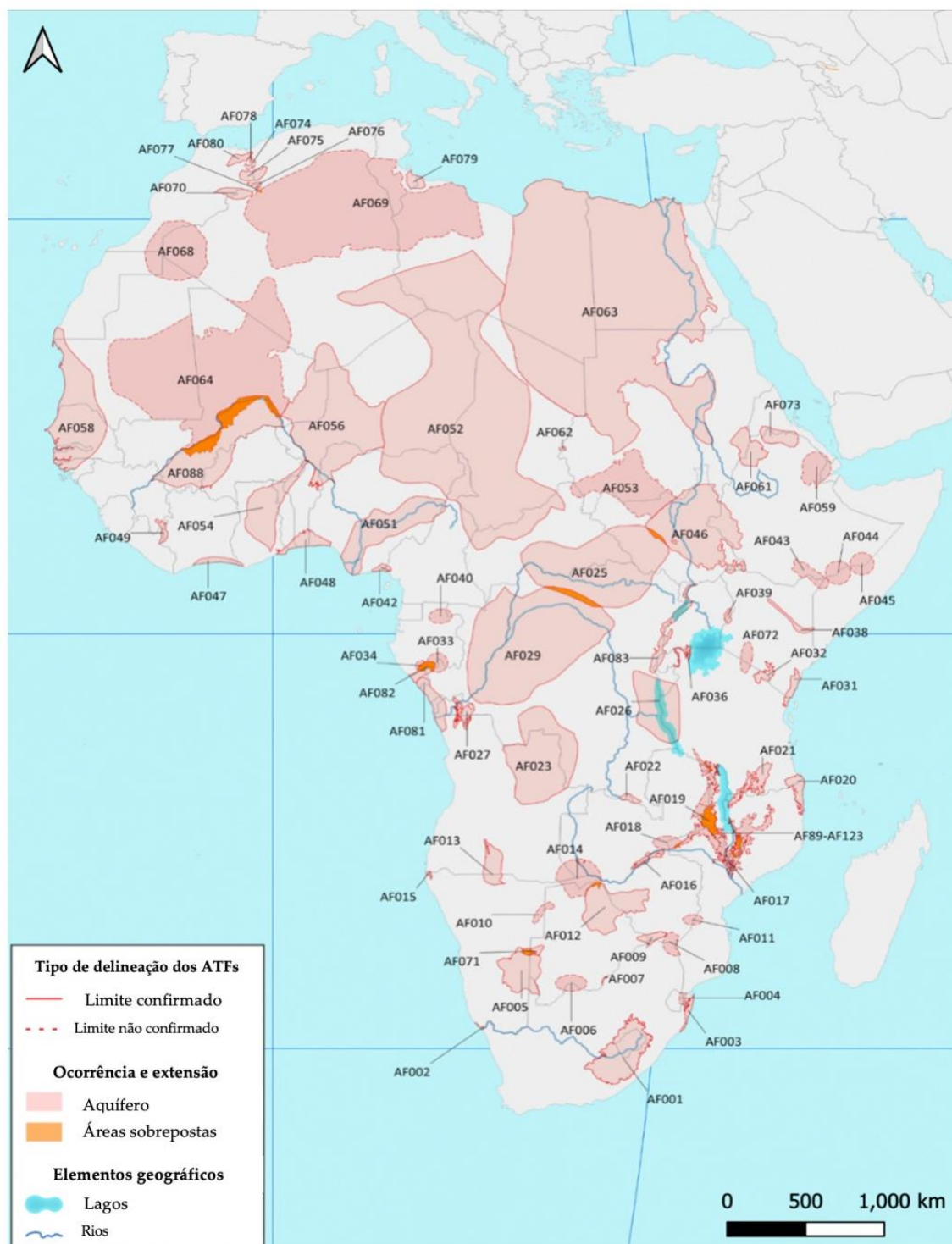


Figura 2 - Aquíferos transfronteiriços (TBAs) na África (reproduzido de IGRAC, 2022). As numerações dos aquíferos estão definidas no verso do mapa do [IGRAC](#).

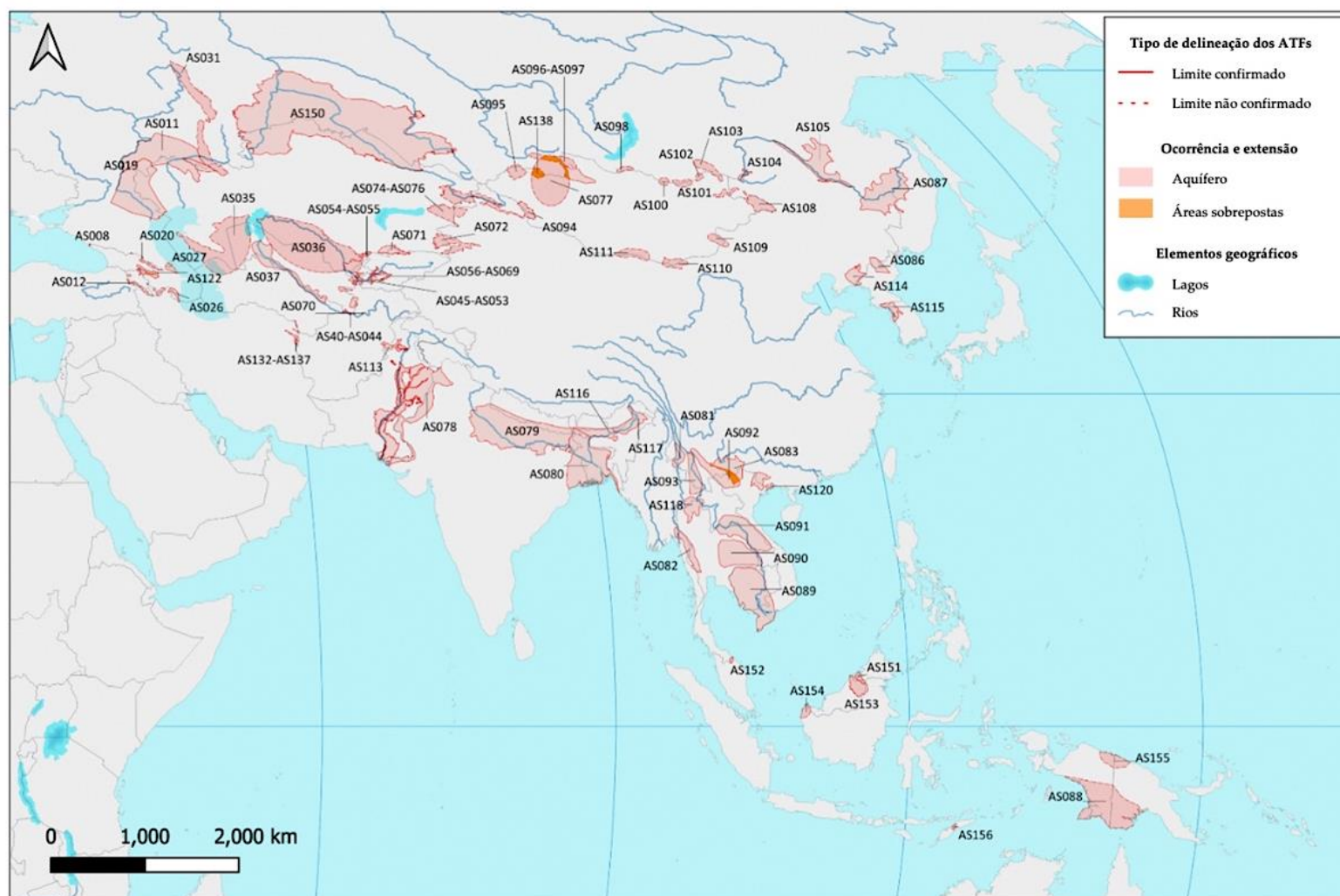


Figura 3 - Aquíferos transfronteiriços (ATFs) na Ásia e Oceania (Reproduzido de IGRAC, 2022). As numerações dos aquíferos são definidas no verso do mapa do [IGRAC](#).



Figura 4 - Aquíferos transfronteiriços (ATFs) da América Central e do Sul (reproduzido de IGRAC, 2022). As numerações dos aquíferos estão definidas no verso do mapa do [IGRAC](#).

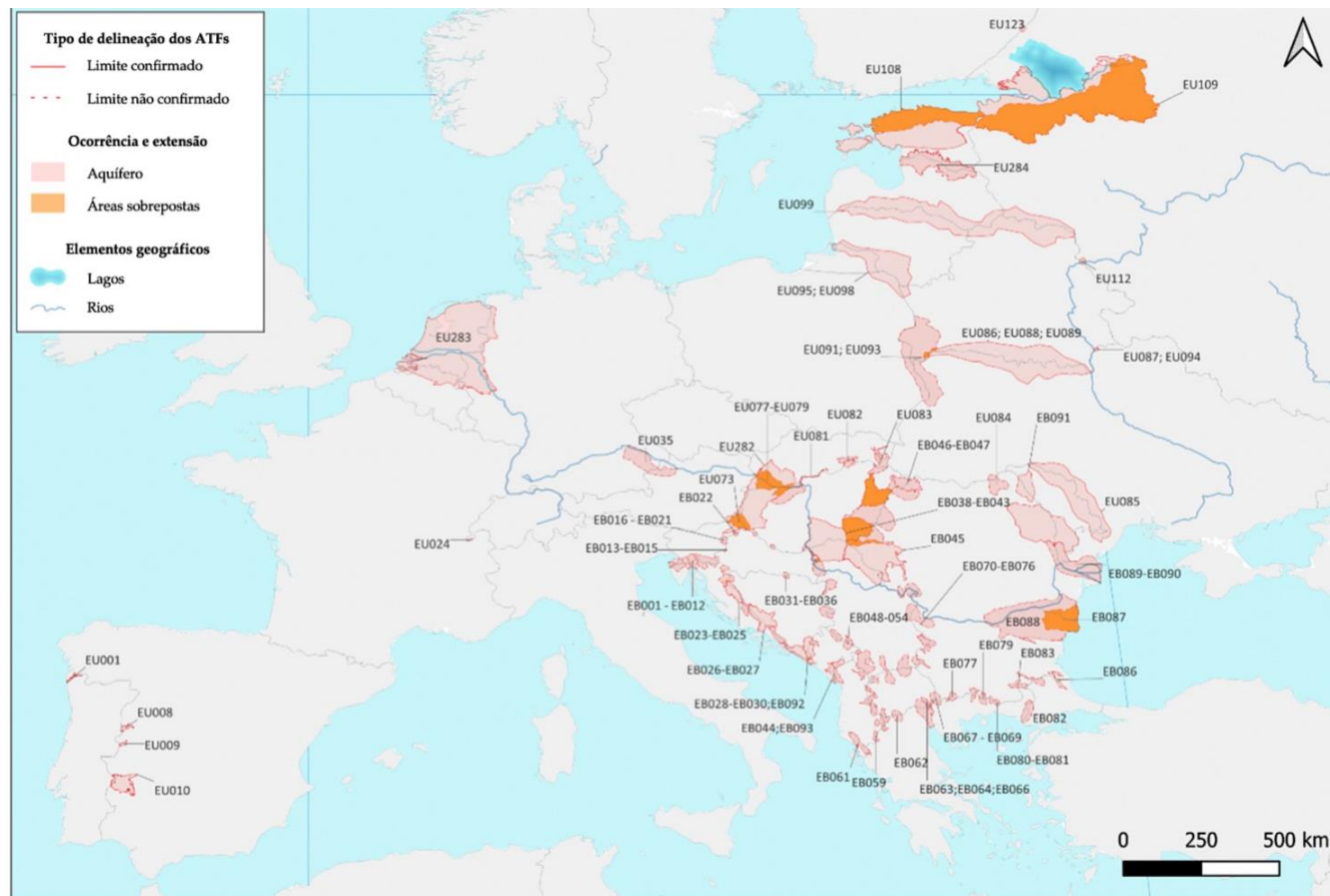


Figura 5 - Aquíferos transfronteiriços (ATFs) da Europa (reproduzido de IGRAC, 2022). As numerações dos aquíferos estão definidas no verso do mapa do [IGRAC](#).

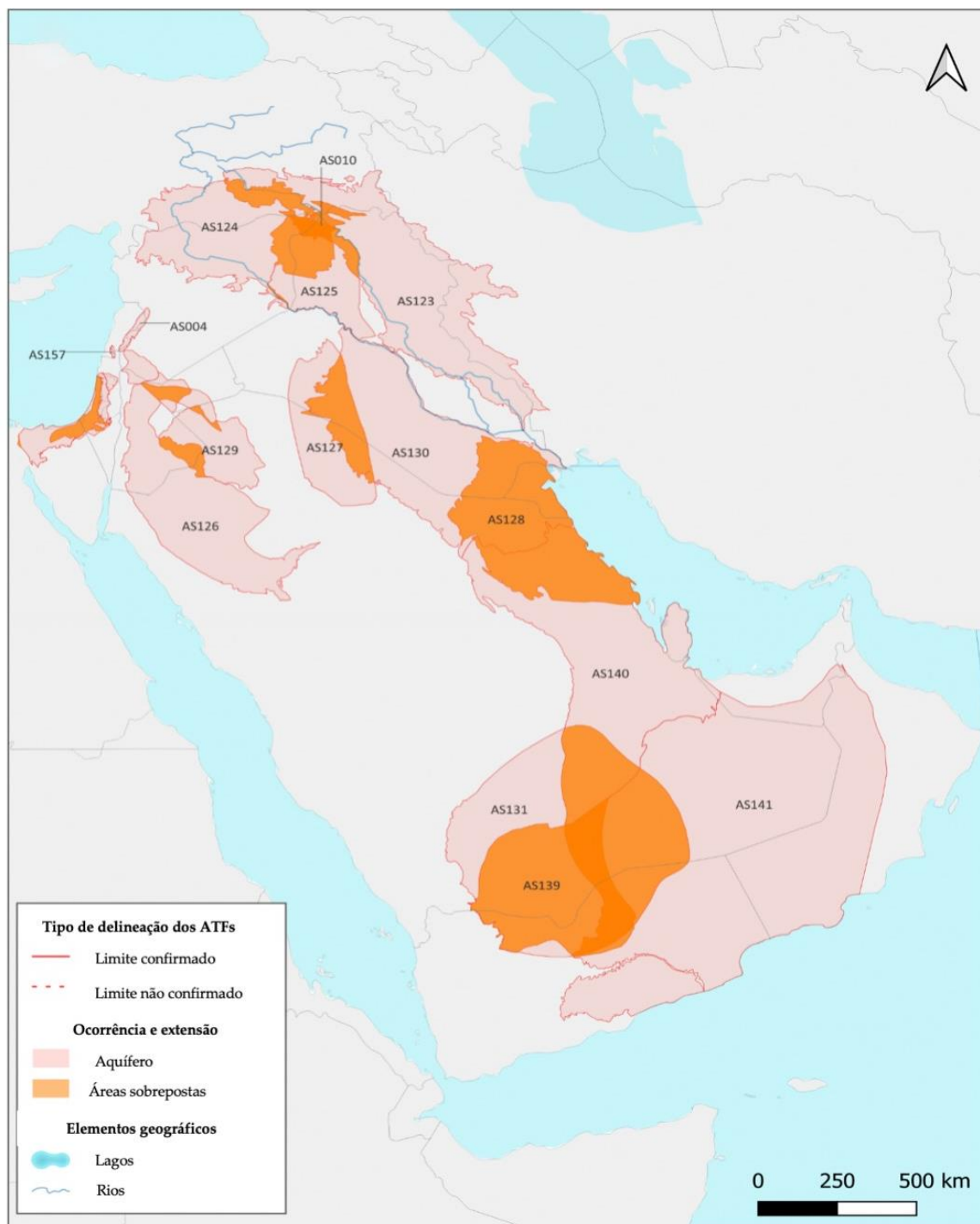


Figura 6 - Aquíferos transfronteiriços (ATFs) do Oriente Médio (reproduzido de IGRAC, 2022). As numerações dos aquíferos estão definidas no verso do mapa do [IGRAC](#).

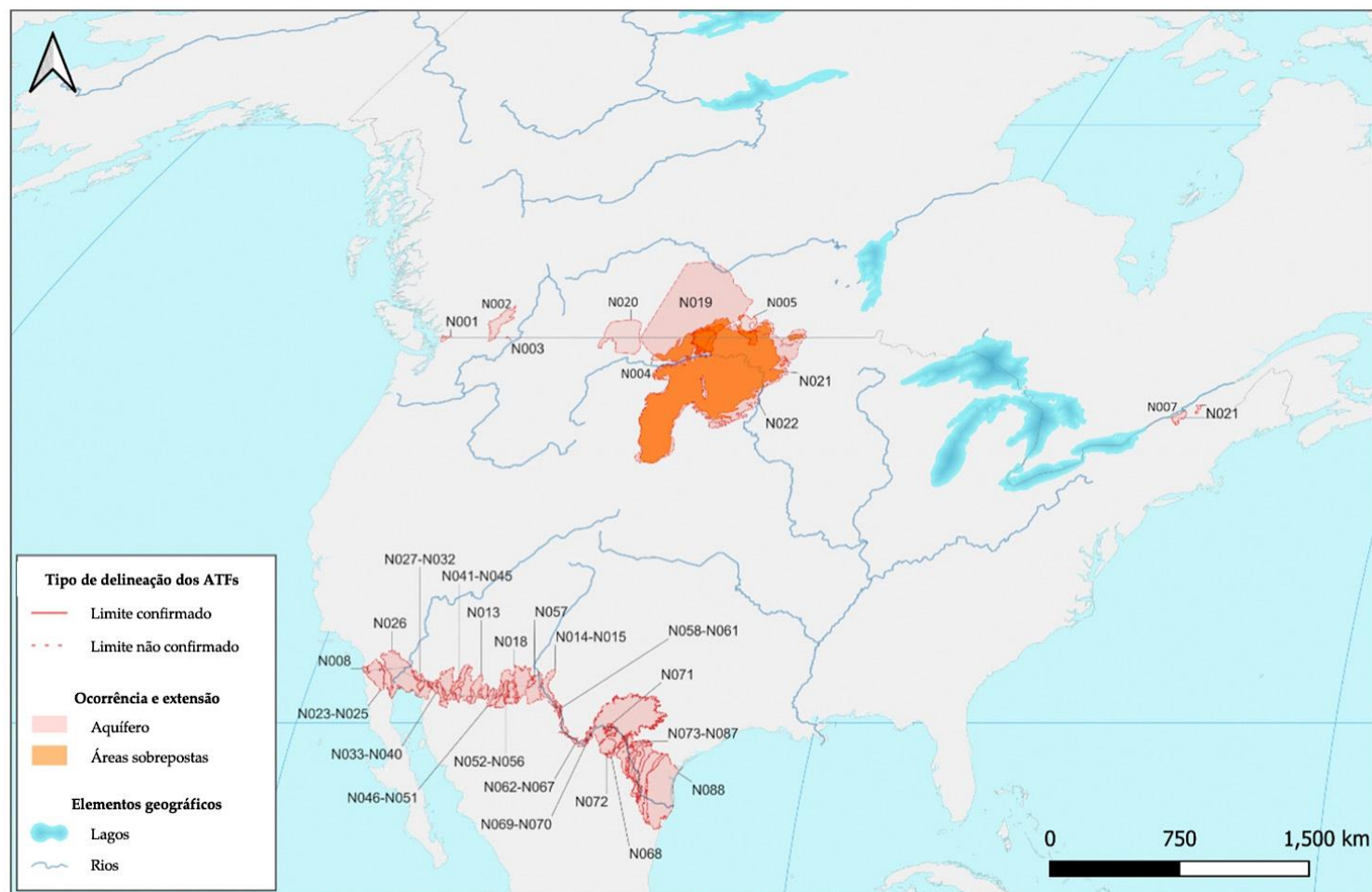


Figura 7 - Aquíferos transfronteiriços da América do Norte (reproduzido de IGRAC, 2022). As numerações dos aquíferos estão definidas no verso do mapa do [IGRAC](#).

Como resultado da crescente compreensão sobre os ATFs e as águas subterrâneas transfronteiriças, tem surgido questões sobre a responsabilidade em relação à exploração e administração de recursos hídricos subterrâneos que atravessam fronteiras geopolíticas (Hayton & Utton, 1989). Isso ocorreu tanto na escala internacional, onde duas ou mais nações soberanas compartilham um aquífero comum, quanto na escala doméstica, onde duas ou mais unidades políticas subnacionais compartilham um aquífero comum.

Na escala internacional, o tema tem sido abordado pelo menos desde a década de 1950, quando a *International Law Association* (Associação de Direito Internacional), uma associação profissional não governamental, reconheceu que:

Até agora, o direito internacional tem se preocupado prioritariamente com as águas superficiais, embora existam alguns precedentes relacionados às águas subterrâneas. Pode ser necessário considerar a interdependência de todas as características hidrológicas e demográficas de uma bacia de drenagem. (International Law Association, 1958, p. 924)

No entanto, enquanto vários pesquisadores exploraram o tema em círculos acadêmicos, questões relacionadas aos direitos legais e à regulamentação dos aquíferos transfronteiriços (ATFs) permaneceram como temas secundários ou até terciários na agenda internacional, até o início dos anos 2000, como mostrado na **Tabela 1** (Eckstein, 2017). Foi então que a Comissão de Direito Internacional das Nações Unidas (CDINU) começou a trabalhar no que se tornou o Projeto de Artigos sobre o Direito dos Aquíferos Transfronteiriços (Resolução da Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas sobre o Direito dos Aquíferos Transfronteiriços, 2008).

Tabela 1 - Breve histórico das águas subterrâneas no Direito Internacional (Baseado em Eckstein, 2017).

Ano	Breve histórico das águas subterrâneas no Direito Internacional
Meados de 1800	Embora indiretas, surgem as primeiras referências às águas subterrâneas em tratados internacionais por meio de alusões aos direitos das partes às nascentes na região fronteiriça.
Meados de 1900	O reconhecimento da inter-relação entre águas superficiais e subterrâneas começa a aparecer em tratados internacionais.
1978	O primeiro tratado exclusivamente focado em um aquífero transfronteiriço entre duas nações (França e Suíça) é ratificado.
2002	A Comissão de Direito Internacional da ONU assume a tarefa de codificar e desenvolver progressivamente o direito internacional aplicável aos aquíferos transfronteiriços.
2008	A Assembleia Geral da ONU emite a primeira resolução sobre o Projeto de Artigos sobre o Direito dos Aquíferos Transfronteiriços da CDI ¹ , recomendando-os à atenção dos estados membros da ONU para sua consideração (reeditada em 2011, 2013, 2016, 2019).
2012	A UNECE ² adota as Disposições Modelo sobre as Águas Subterrâneas Transfronteiriças como diretrizes para os membros da Convenção sobre a Proteção e a Utilização dos Cursos de Água Transfronteiriços e dos Lagos Internacionais.
2022	A ONU declara 2022 como o ano das águas subterrâneas sob o tema <i>Tornando o Invisível Visível</i> .
2022	O direito internacional para aquíferos transfronteiriços e recursos hídricos subterrâneos permanece indefinido e sem regras explícitas para determinar a responsabilidade em relação ao seu uso, gestão, exploração ou administração.

¹ CDI: Comissão de Direito Internacional da Organização das Nações Unidas.

² UNECE: Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa.

No nível doméstico, relativamente poucos esforços foram feitos ao redor do mundo para formular padrões gerais e modelos que abordem as implicações interjurisdicionais¹ de aquíferos que atravessam limites entre duas unidades políticas subnacionais. Focando nos EUA, Eckstein e Hardberger (2008) exploraram os poucos arranjos de aquíferos interjurisdicionais que existem entre estados nos EUA e identificaram algumas similaridades. Hall e Cavataro (2013) consideraram o direito de águas subterrâneas, focando na aplicabilidade da doutrina de repartição equitativa da Suprema Corte dos EUA como um mecanismo para a alocação nos aquíferos compartilhados entre estados. Hall e Regalia (2016) exploraram a relevância da doutrina do incômodo do direito comum dos EUA para a gestão desses aquíferos, concentrando-se na disputa entre Mississippi e Tennessee sobre o aquífero Sparta Memphis. Mais recentemente, Caccese e Fowler (2020) discutiram brevemente os poucos exemplos no leste dos EUA de disputas interjurisdicionais sobre águas subterrâneas e comissões de bacias hidrográficas que regulam as retiradas de águas subterrâneas em vários estados e identificaram as lições

¹ Nota da tradutora: O termo original usado pelo autor era *transboundary*, pois no inglês ele se aplica para algo que atravessa ou ocorre além das fronteiras nacionais ou outros limites interjurisdicionais. No português a tradução equivalente seria transfronteiriço, que está prioritariamente vinculado a ideia de fronteira, entendida normalmente como a linha que separa dois ou mais países, enquanto o termo limites se aplica para as linhas que dividem estados ou outros tipos de jurisdição. Considerando o contexto, optou-se por utilizar o termo interjurisdicionais. Destaca-se que em alguns sistemas jurídicos, as unidades subnacionais possuem o domínio das águas subterrâneas e considerável autonomia institucional e regulatória. Isso permite comparar esses aquíferos interjurisdicionais aos aquíferos transfronteiriços, pois, embora seus limites não cruzem o território nacional, sua gestão é feita de forma isolada por cada uma dessas unidades subnacionais.

aprendidas. Análises semelhantes sobre aquíferos interjurisdicionais subnacionais em outros países ao redor do mundo não foram encontradas.

Como resultado, o direito aplicável aos recursos hídricos subterrâneos transfronteiriços, tanto no nível internacional quanto nacional, é bastante primitivo, incompleto e está em um estágio muito inicial de desenvolvimento. Não existem regras definitivas que tratem das questões de responsabilidade relacionadas ao uso, gestão, exploração e administração de um aquífero comum que se estenda por duas ou mais nações ou unidades políticas subnacionais.

Para fornecer uma base para o desenvolvimento de tais leis e regulamentos, este livro explora as circunstâncias em que o uso, gestão ou exploração de um aquífero transfronteiriço em uma jurisdição pode causar danos físicos ou econômicos a uma unidade política vizinha e, assim, resultar em responsabilidade legal, incluindo obrigações relacionadas à reparação do dano. Examinamos a exploração e a gestão de recursos hídricos subterrâneos transfronteiriços de uma perspectiva legal, e não científica.

Para hidrogeólogos e outros cientistas da água, essa abordagem pode parecer imprudente para a gestão adequada dos recursos hídricos subterrâneos. Linhas políticas, leis e direitos sobre a água muitas vezes podem ser criações não científicas e artificiais que não têm relação com os caminhos de fluxo, a pressão hidrostática ou a química das águas subterrâneas. No entanto, a realidade da sociedade moderna é que leis e políticas são as ferramentas—embora imprecisas—mais frequentemente utilizadas por pessoas e comunidades para gerenciar os recursos naturais.

Não obstante a perspectiva legal, nossa análise é fundamentada na ciência da água. Exploramos as relações de causa e efeito na exploração, contaminação e gestão dos recursos hídricos subterrâneos utilizando modelos conceituais de aquíferos transfronteiriços. Em seguida, traduzimos essa análise em noções de responsabilidade internacional e de responsabilidade pela reparação do dano, que são mais comuns no campo jurídico.

Como questão preliminar, no âmbito internacional, vale a pena diferenciar a responsabilidade e a responsabilidade pela reparação do dano² (**Tabela 2**). Conforme

² Nota da tradução: A ideia de responsabilidade é concebida de forma distinta no sistema romano-germânico (também conhecido como sistema continental europeu) e no sistema jurídico da *Common Law* (também conhecido sistema anglo-saxão). Nos países que aderiram ao sistema romano-germânico, a responsabilidade foi objeto de regulação pelos Estados em seus ordenamentos nacionais por meio do regime da responsabilidade civil, enquanto nos sistemas anglo-saxões seu desenvolvimento se dá por meio do desenvolvimento da *Law of Tort*, no qual se diferenciam os conceitos de *responsibility* e de *liability*, cuja tradução perfeita para o português ou espanhol se tornam impossíveis. Para mais detalhes sobre essa dificuldade de tradução, consultar TERESA FAJARDO, *La protección del medio ambiente y el desafío climático 50 años después de la declaración de Estocolmo*, Dykinson, 2024, p. 149. O presente livro foi escrito por autores originários do sistema anglo saxão no qual se faz essa diferenciação, exigindo que se fizessem algumas adaptações de forma a manter a coerência desses termos dentro de um sistema jurídico distinto. No Brasil, o termo "responsabilidade" abrange os conceitos de *responsibility* e *liability*. Dessa forma, a tradução utilizou o termo responsabilidade em ambos os casos, porém quando o livro frisava sua distinção ou o conceito de *liability*, adotou-se o termo responsabilidade pela reparação do dano ou responsabilidade pelos danos.

utilizado neste livro, a responsabilidade refere-se a uma determinação legal de que um ator pode ser culpado por uma situação ou resultado específico. A responsabilidade, no entanto, não cria necessariamente uma obrigação de reparar o problema. Assim, um país pode ser considerado responsável por um impacto transfronteiriço, mas pode não ser obrigado a pagar por qualquer dano resultante.

Tabela 2 - Definição de responsabilidade versus responsabilidade pela reparação do dano.

Termo	Definição
Responsabilidade (<i>responsibility</i>)	Determinação legal que atribui culpa
Responsabilidade pela reparação do dano (<i>liability</i>)	Determinação legal sobre a obrigação de tomar medidas corretivas ou compensatória.

Por sua vez, a responsabilidade pela reparação do dano refere-se a uma constatação legal de que um ator é obrigado a tomar alguma medida corretiva ou compensatória para resolver uma situação ou resultado específico. No contexto transfronteiriço, isso pode significar qualquer coisa, desde interromper a conduta ofensiva até reparar um ambiente danificado ou pagar uma compensação pelos danos causados. Na maioria dos casos, uma parte só pode ser considerada responsável depois que é demonstrado que a mesma parte é responsável pela conduta que gerou o resultado prejudicial.

2 O Dilema de Misturar Águas Subterrâneas e Direito

As fronteiras que demarcam as linhas territoriais de estados soberanos e unidades políticas subnacionais geralmente servem como base para que essas jurisdições reivindiquem os recursos naturais sólidos encontrados dentro de seu território. Por exemplo, direitos sobre carvão, urânio e outros depósitos minerais que atravessam fronteiras políticas são tipicamente divididos em relação às fronteiras geográficas, com o direito de cada estado ou unidade subnacional diretamente relacionado a esses recursos encontrados fisicamente dentro de seu território (**Figura 8**). No entanto, dividir depósitos fluidos como águas subterrâneas entre duas ou mais jurisdições apresenta complicações únicas, especialmente quando as águas subterrâneas são renováveis e fluem ativamente através da fronteira.

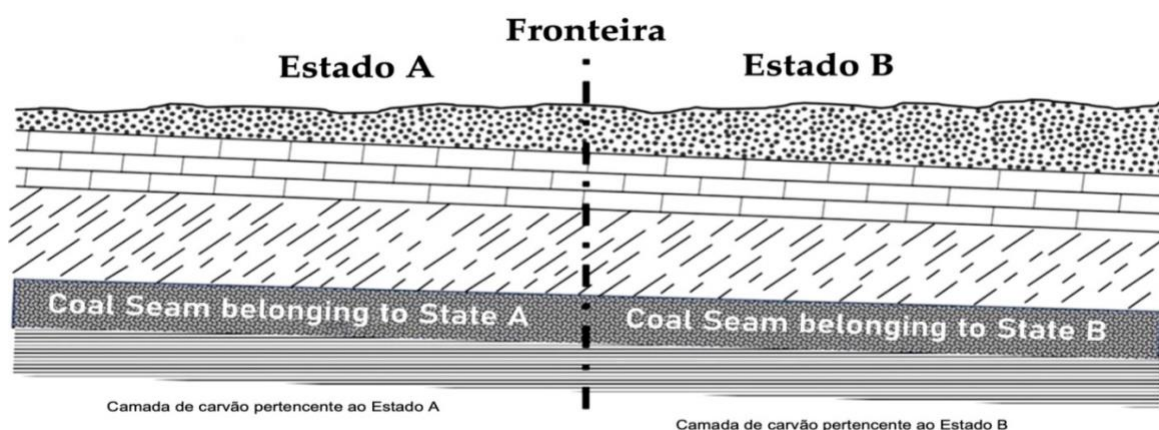


Figura 8 - Os direitos sobre depósitos minerais que atravessam fronteiras administrativas, como esta camada de carvão, são tipicamente divididos em relação às fronteiras políticas, com cada estado ou unidade subnacional tendo direito aos recursos encontrados fisicamente sob seu território.

O fluxo de águas subterrâneas não respeita fronteiras políticas, linhas jurisdicionais ou outras demarcações artificialmente traçadas. Em vez disso, ele segue por meio e através do caminho de menor resistência, que se caracteriza pela permeabilidade, porosidade, pressão e outros fatores geológicos e naturais (**Figura 9**). Como resultado, os fluxos de águas subterrâneas podem atravessar fronteiras administrativas internacionais e intranacionais, tornando-se assim unidades políticas nacionais e subnacionais ribeirinhas do mesmo sistema aquífero. Em direito, um ribeirão é uma pessoa ou unidade política que possui terras imediatamente adjacentes a um curso de água natural ou corpo de água, ou imediatamente sobre um aquífero. Tanto na ciência quanto no direito, um aquífero é uma formação geológica definida, enquanto as águas subterrâneas são o fluido que se move através dessa formação. Assim, em um contexto transfronteiriço com duas unidades políticas adjacentes, um aquífero transfronteiriço está localizado em e sob as duas unidades políticas, as águas subterrâneas fluem entre as duas unidades políticas, e as duas unidades

políticas são ribeirinhas ao aquífero. Uma compreensão holística da ciência das águas subterrâneas é fundamental para entender e avaliar os direitos relacionados aos recursos hídricos subterrâneos transfronteiriços.

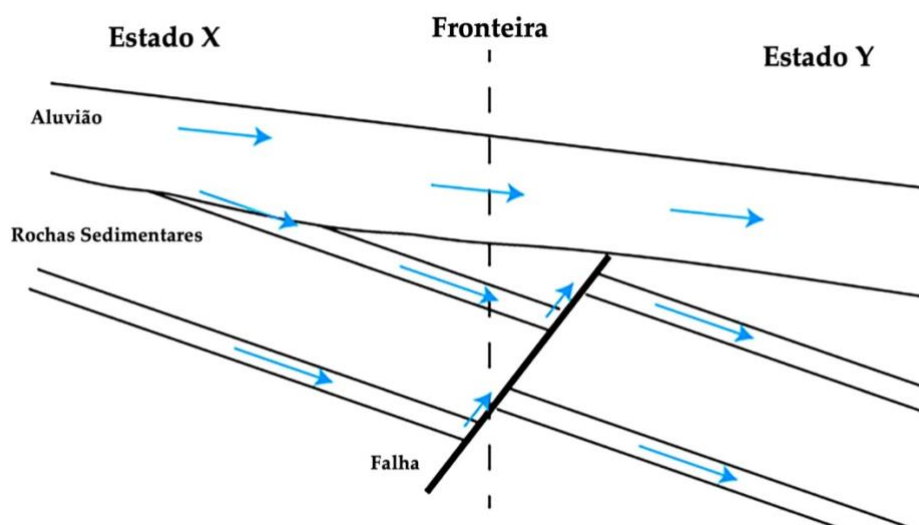


Figura 9 - Fluxo de águas subterrâneas—setas azuis mostram as direções do fluxo—sob os Estados X e Y, com o fluxo atravessando a fronteira política.

Em termos de direito, soberania e noções de propriedade dos recursos hídricos subterrâneos, o desafio reside em determinar as quantidades precisas, ou os direitos a elas associados, que devem ser atribuídos a cada ribeirinho. No entanto, a situação se torna mais complicada pelo fato de que o fluxo de águas subterrâneas ocorre de forma invisível, no subsolo, não se move tipicamente em uma direção linear e pode ser difícil de mensurar com precisão. Por isso, para fins de determinar a propriedade legal das águas subterrâneas ou os direitos de usufruto (que é o direito legal de usá-las, mas não de possuí-las), torna-se impraticável até mesmo tentar atribuir um ponto de origem a qualquer gota d'água ou prever o momento exato em que uma gota em um aquífero transfronteiriço cruza uma fronteira política.

Além disso, com a possível exceção das águas subterrâneas fósseis (que datam de milhares ou milhões de anos) e das águas subterrâneas connatas (presas nos poros de uma rocha durante a formação do aquífero), a maioria dos aquíferos está hidrologicamente ligada ao ciclo da água e recebe e transmite regularmente água para outros componentes do sistema. Como resultado, um aquífero pode estar sujeito a flutuações tanto na quantidade quanto na qualidade da água em relação à recarga, descarga, precipitação, evaporação e outras mudanças no sistema. Isso complica ainda mais a designação da soberania e de outros direitos relacionados aos recursos hídricos subterrâneos transfronteiriços e requer uma compreensão holística da ciência das águas subterrâneas ao avaliar as implicações legais.

Em quais circunstâncias as águas subterrâneas ou um aquífero podem gerar implicações legais transfronteiriças, seja no nível internacional ou entre unidades políticas subnacionais? Quais condições podem desencadear consequências transfronteiriças e em quais cenários elas podem ser anuladas? Essas são as questões que estão sendo levantadas por governos em níveis nacional e subnacional, as quais necessitam de maior escrutínio e serão exploradas nas páginas a seguir.

3 O Direito que Governa os Aquíferos que Atravessam Limites Políticos

Antes de discutir as implicações legais transfronteiriças dos recursos hídricos subterrâneos compartilhados, é necessário primeiro identificar quais direitos os ribeirinhos de aquíferos possuem.

O direito internacional para a gestão e alocação de recursos hídricos subterrâneos transfronteiriços ainda está em sua infância e os direitos dos países a esses recursos ainda não foram completamente definidos. Até o momento, não há um conjunto de normas consuetudinárias amplamente aceito, que encapsulem as regras que governam a conduta dos estados nesse campo (Eckstein, 2017). A tentativa mais significativa de formular normas legais para o uso, gestão, exploração e administração de águas subterrâneas que atravessam fronteiras internacionais foi realizada de 2002 a 2008 pela Comissão de Direito Internacional da ONU: o Projeto de Artigos sobre o Direito dos Aquíferos Transfronteiriços (Comissão de Direito Internacional da ONU, 2008; conforme indicado na **Tabela 1** deste livro). No entanto, cada vez que o assunto era recomendado à atenção dos estados membros da ONU, as considerações adicionais eram adiadas para uma reunião futura. O Projeto de Artigos foi, pela última vez, incluído na agenda da Assembleia Geral da ONU, para ser avaliado no outono de 2026 (AGNU, 2022). (AGNU, 2022).

Em relação ao direito internacional substantivo, com base no Projeto de Artigos e no pequeno número de tratados e acordos que atualmente existem para aquíferos transfronteiriços ao redor do mundo, o máximo que se pode dizer hoje é que:

1. um ribeirinho de um aquífero possui alguns direitos, ainda não totalmente definidos, de usar e de aproveitar das águas subterrâneas de um aquífero que se encontra tanto em seu território quanto no de uma jurisdição vizinha; e
2. quando esse uso e aproveitamento interferem com os direitos equivalentes do ribeirinho vizinho do aquífero de usar e aproveitar das águas subterrâneas subjacentes ao seu próprio território, tais direitos podem estar sujeitos a restrições e possível responsabilidade de reparar danos (Eckstein, 2017).

Se os direitos conflitantes estão fundamentados nos dois princípios fundamentais do direito internacional das águas — uso equitativo e razoável, e não causar dano significativo — ainda não foi determinado. Em termos de direitos e obrigações processuais para o uso de aquíferos transfronteiriços, quatro princípios parecem estar caminhando para uma aceitação como norma costumeira. Eckstein (2017) descreve esses princípios como incluindo as obrigações de:

1. intercâmbio regular de dados e informações sobre o aquífero transfronteiriço;
2. monitorar e gerar dados e informações suplementares sobre o aquífero transfronteiriço;

3. notificar previamente sobre atividades planejadas que possam afetar negativamente o território de outro ribeirão do aquífero ou o próprio aquífero transfronteiriço; e
4. criar um mecanismo institucional para facilitar ou implementar as obrigações acima.

No nível interestadual nacional, a situação não é muito melhor. A lei aplicável a esses recursos interjurisdicionais depende necessariamente das leis domésticas do país em que o recurso se encontra. Em sistemas federais, onde unidades subnacionais têm alguma medida de soberania sobre recursos e atividades que ocorrem dentro de suas fronteiras — como nos EUA, Índia, Brasil e Austrália — a lei depende da relação legal entre os governos federal e estadual, bem como da jurisprudência interestadual que possa existir no país. Assim, nos EUA, por exemplo, disputas sobre águas interestaduais podem ser resolvidas pela Suprema Corte dos EUA sob a doutrina da repartição equitativa. De fato, essa venerável Corte recentemente adjudicou o primeiro caso já decidido por qualquer corte superior de uma nação envolvendo recursos de águas subterrâneas interestaduais. No caso *Mississippi v. Tennessee*, a Corte concluiu que os estados dos EUA não podem exercer propriedade ou controle exclusivo sobre as águas de um aquífero interestadual e que tais aquíferos estão sujeitos à repartição equitativa entre os ribeirões sobrejacentes (*Mississippi v. Tennessee*, 2021). Como o primeiro caso desse tipo, ainda há uma escassez de experiência e jurisprudência que permita determinar a responsabilidade e as obrigações de reparação dos danos frente aos impactos no nível interestadual nacional.

Dado que os direitos e obrigações dos ribeirões de aquíferos ainda estão em estágio inicial de desenvolvimento e permanecem inconclusivos em todos os níveis jurisdicionais, a análise que se segue é um tanto rudimentar, pois considera apenas vários cenários de interferência transfronteiriça com os potenciais direitos legais das unidades políticas vizinhas. Apesar de sua abordagem simplista, a análise oferece alguns insights sobre quando a responsabilidade e o dever de reparar danos podem surgir frente ao uso, gestão, exploração ou administração de um aquífero transfronteiriço. O foco aqui está nas violações de princípios substantivos — aqueles que infringem os direitos ou, neste estágio, os possíveis direitos — dos estados e podem resultar em danos físicos ou econômicos.

Esses princípios são de particular relevância quando os estados iniciam atividades ativas diretamente relacionadas a um aquífero, como bombear água subterrânea, poluir intencionalmente ou não um aquífero, minerar a matriz de um aquífero, desviar fluxos tributários que — em condições naturais — alimentam o aquífero e gerenciar atividades na zona de recarga de um aquífero de maneira que afete o volume ou a qualidade da recarga natural. Os remédios para violações de direitos substantivos variam desde a interrupção da conduta ofensiva até a reparação de qualquer dano causado, incluindo o pagamento de compensação pelo prejuízo. Neste livro, não consideraremos violações de deveres processuais, cujos remédios normalmente envolvem o cumprimento dessas obrigações.

4 Caracterizando a Responsabilidade e a Reparação pelos Impactos Transfronteiriços

Baseando-se em Eckstein e Eckstein (2005) e Eckstein (2017), as subseções desta Seção 4 apresentam modelos de cenários nos quais os recursos hídricos subterrâneos podem ter implicações transfronteiriças. Esses modelos conceituais representam as circunstâncias mais prováveis em que o uso de um aquífero pode ter um impacto—geralmente adverso, mas que também pode ser benéfico—através de uma fronteira política. Por meio da explicação dos modelos, destacamos e examinamos circunstâncias específicas para impactos transfronteiriços, identificando como se dá responsabilidade e a responsabilidade pelo dano. Significativamente, os modelos se aplicam tanto internacionalmente (ou seja, entre nações) quanto entre unidades políticas subnacionais domésticas. Além disso, todos são modelos genéricos cientificamente válidos, pois estão de acordo com o estado atual do conhecimento da ciência das águas subterrâneas.

Embora este livro foque principalmente em aquíferos que atravessam fronteiras políticas internacionais, a discussão é igualmente aplicável aos aquíferos que atravessam fronteiras políticas subnacionais, como entre estados subnacionais. Para simplificar, a análise se usará o termo Estado ao discutir jurisdições políticas distintas, seja no nível internacional ou subnacional. Assim, ao longo de nossa discussão, o termo Estado pode ser facilmente substituído por nação, cantão, província, condado ou outra designação jurisdicional para se adequar ao cenário transfronteiriço particular. Além disso, o leitor deve notar que muitos conceitos técnicos são descritos em detalhes específicos ao discutir o cenário rotulado como Modelo A, mas—para avançar a discussão—menos detalhados nas seções subsequentes que fazem referência a outros modelos. Portanto, é fortemente recomendada uma leitura minuciosa do Modelo A para melhor compreender os outros modelos.

4.1 Modelo A: Aquífero Livre Transfronteiriço Hidrologicamente Conectado a um Rio Transfronteiriço Contíguo

O Modelo A (**Figura 10**) representa um aquífero livre que está hidrologicamente ligado a um rio contíguo, um rio que flui ao longo e forma a fronteira entre dois estados ribeirinhos. Neste caso, o rio forma a fronteira entre o Estado A e o Estado B. O aquífero é considerado transfronteiriço porque a formação geológica e a água subterrânea contida nessa formação atravessam e ultrapassam a fronteira política.

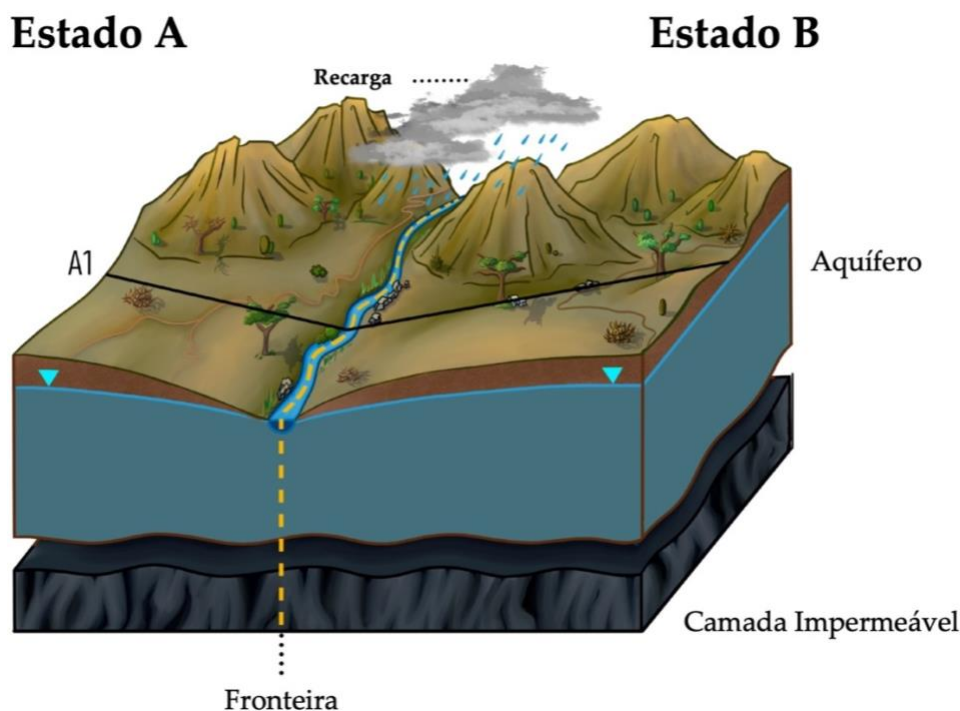


Figura 10 - Modelo A: Um aquífero livre hidrologicamente ligado a um rio contíguo. A linha rotulada como A1 indica a localização da seção transversal referenciada nos diagramas subsequentes.

A **Figura 11** ilustra o nível freático e as direções de fluxo da água subterrânea ao longo da seção transversal A1 em condições naturais (sem bombeamento), mostrando que a água subterrânea descarrega no rio de ambos os lados da fronteira entre os Estados A e B. O rio também é considerado transfronteiriço quando a fronteira oficial entre os dois estados se encontra dentro do próprio canal—como é o caso na vasta maioria dos rios contíguos que formam fronteiras—em vez de estar na margem de um dos ribeirinhos, o que tornaria o fluxo inteiramente doméstico para o outro ribeirão vizinho. Em tal cenário, a água dentro do curso d'água é considerada como fluindo tanto ao longo quanto dentro de ambos os estados.

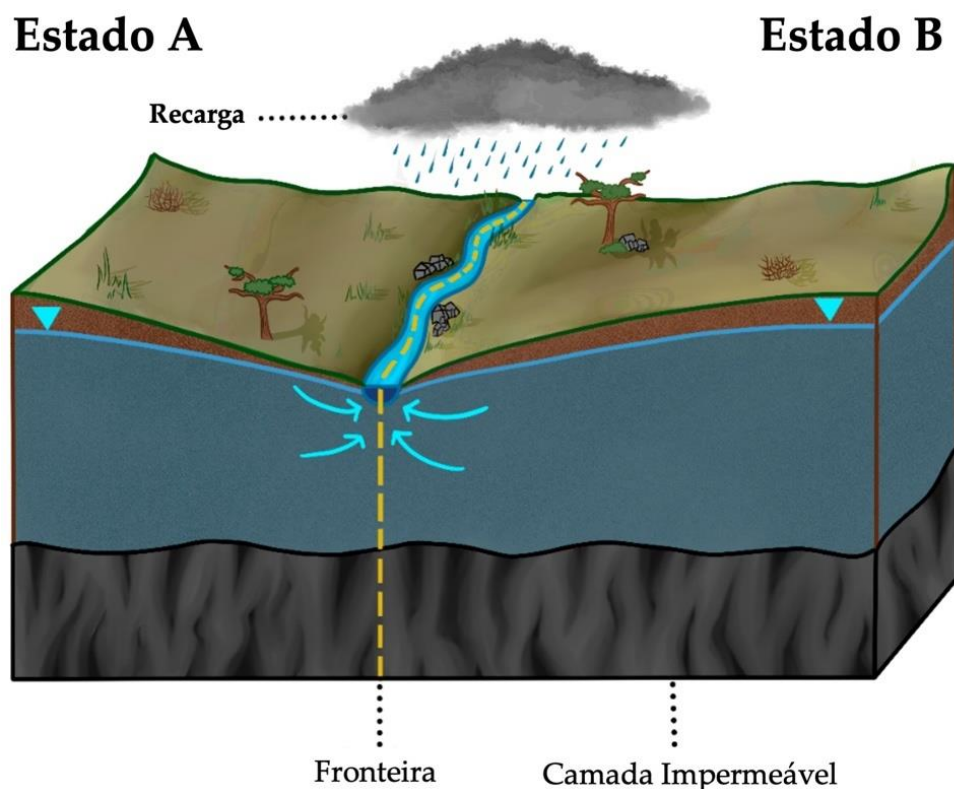


Figura 11 - Modelo A com um rio efluente em condições hidrológicas naturais (sem bombeamento) mostrando o nível freático e as direções de fluxo da água subterrânea ao longo da seção transversal A1. O sistema de águas subterrâneas é recarregado pela precipitação que cai na superfície terrestre; toda a descarga ocorre para o rio.

Uma das características geológicas críticas deste modelo é que o aquífero livre é dividido por um rio contíguo inter-relacionado. Embora o aquífero constitua um único corpo d'água—cujas partes estão de ambos os lados da fronteira política—a bifurcação do aquífero pelo rio precisamente ao longo da linha de fronteira, em condições naturais, pode minimizar os impactos que atividades de um lado da fronteira (por exemplo, Estado A) possam ter no outro lado (por exemplo, Estado B). Isso é verdade, tanto para o caso do rio ser um curso d'água efluente (rio recebe água do aquífero), como no curso d'água influente (rio perde água para o aquífero).

Por exemplo, considere que o Estado A, no Modelo A, decidiu explorar artificialmente sua seção do aquífero transfronteiriço perfurando um ou mais poços nas proximidades da fronteira. Também assumo, conforme sugerido no Modelo A, que o rio contíguo que divide o aquífero livre é um curso d'água efluente. O resultado desta ilustração depende amplamente da extensão das atividades de extração do Estado A e resulta em três possíveis cenários que são apresentados na **Figura 12**, **Figura 13** e **Figura 14**. Dos três cenários, o segundo (**Figura 13**) e o terceiro (**Figura 14**) resultam em um impacto transfronteiriço negativo que pode ser acionável judicialmente.

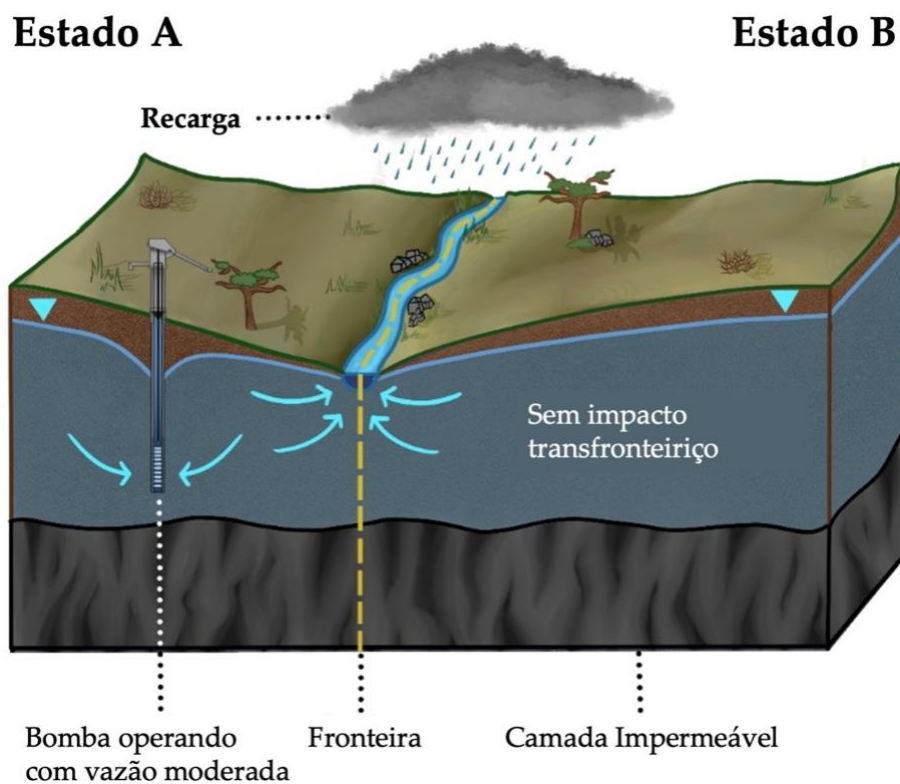


Figura 12 - O Estado A bombeia uma vazão moderada no Modelo A, tendo como base um rio efluente, produzindo a configuração do nível freático e as direções de fluxo da água subterrânea mostradas ao longo da seção transversal A1. A área de influência do poço (área ao redor do poço que é afetada pelo bombeamento) não alcança o rio; não há impacto no fluxo do rio até que a água subterrânea armazenada na zona de bombeamento seja esgotada e o sistema atinja condições de estado estacionário. Em última análise, o fluxo do rio diminuirá no máximo a uma taxa igual à taxa de bombeamento, que captura a recarga que iria para o rio. O fluxo diminuído do rio pode ser inferior à taxa de bombeamento porque a depressão do nível freático pode diminuir a perda de água subterrânea para a evapotranspiração. Portanto, não há impacto transfronteiriço sobre o Estado B.

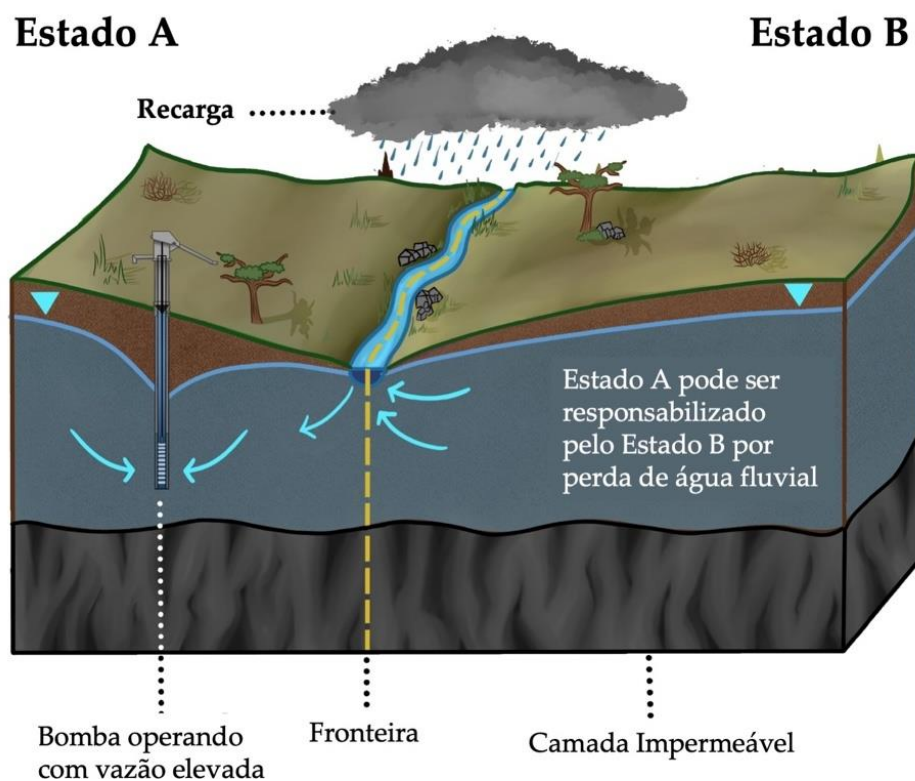


Figura 13 - O Estado A bombeia vazões elevadas no Modelo A, com um rio efluente, produzindo a configuração do nível freático e as direções de fluxo da água subterrânea mostradas ao longo da seção transversal A1. A área de influência do poço de bombeamento se estende até o rio, fazendo com que parte da água que flui no rio infiltre no sistema de águas subterrâneas, diminuindo o nível do rio em comparação com o cenário anterior (**Figura 12**). Devido à redução do fluxo no rio, o Estado B tem uma possível reivindicação de responsabilidade contra o Estado A devido à perda de uso da água do rio.

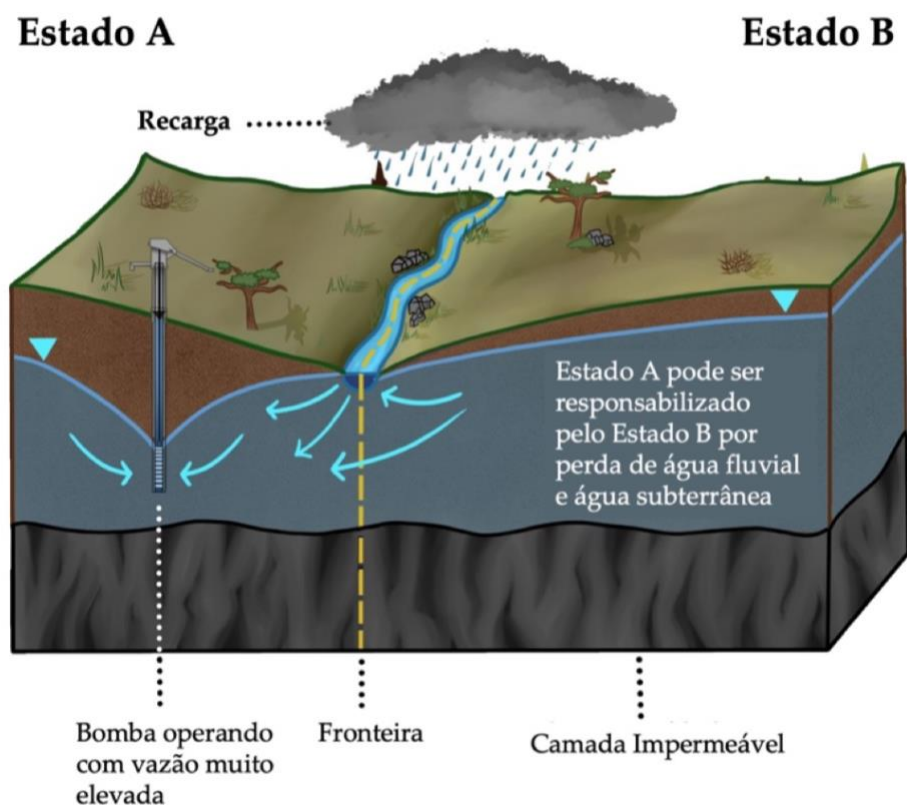


Figura 14 - O Estado A bombeia a uma vazão muito elevada no Modelo A, com um rio efluente, produzindo a configuração do nível freático e as direções de fluxo da água subterrânea mostradas ao longo da seção transversal A1. A área de influência do poço de bombeamento se estende além do rio e alcança o Estado B, esgotando o armazenamento de água subterrânea sob o Estado B e fazendo com que a água subterrânea flua através da fronteira do Estado B para o Estado A. O fluxo do rio para o aquífero aumenta em comparação com o cenário anterior (**Figura 13**), causando níveis mais baixos no rio. O Estado B tem uma possível reivindicação de responsabilidade contra os danos causados pelo Estado A devido à perda de uso tanto da água do rio quanto da água subterrânea.

No primeiro cenário, onde a extração artificial do poço no Estado A se dá de com uma vazão moderada em relação à recarga natural, o potencial hidráulico do aquífero, combinado com o fluxo a jusante do rio contíguo, amenizaria os efeitos de quantidade e qualidade em ambos os lados da fronteira (**Figura 12**). Como a direção do fluxo em um curso d'água efluente é do aquífero para o rio, a extração de uma vazão moderada do aquífero no Estado A teria pouco ou nenhum impacto na seção do aquífero no Estado B ou no rio binacional. Como resultado, o impacto transfronteiriço neste cenário seria insignificante e, portanto, não haveria base para uma reivindicação legal.

No segundo cenário, a vazão e o volume de bombeamento de água subterrânea no Estado A se intensificam a ponto de a área de influência ao redor do poço se estender até o rio, mas não além dele (**Figura 13**). Aqui, o impacto das atividades de extração artificial pode afetar o rio, transformando sua relação de ganho com o aquífero em uma interação de perda dentro do cone de depressão. Como resultado, parte da água que fluiria para o rio em condições naturais passa a ser direcionada para o aquífero rumo ao poço do lado da

fronteira do Estado A. Dessa forma, o Estado A seria responsável pelo impacto transfronteiriço localizado. Na medida em que isso tenha um impacto significativo na capacidade do Estado B de usar ou aproveitar de sua parte equitativa e razoável da água do rio transfronteiriço, o Estado B também poderia ter uma reivindicação de responsabilidade contra o Estado A.

Vale destacar que, neste segundo cenário, o cone de depressão está localizado apenas no Estado A (**Figura 13**). Assim, no Estado B, no lado oposto do aquífero, que não está sendo bombeado, o rio continuará sua relação natural de ganho com o aquífero. Da mesma forma, outras seções do rio que estão fora da área de influência — em ambos os lados do rio, tanto a montante quanto a jusante do poço do Estado A — também manterão seus caminhos de fluxo natural e a relação de ganho com o aquífero, não sendo impactadas pelas atividades de bombeamento do Estado A.

O segundo cenário antecede a situação do terceiro cenário, onde as atividades de extração artificial do Estado A são tão consideráveis que a área de influência do poço de bombeamento se estende além da fronteira, alcançando o Estado B. Nesse contexto, o bombeamento no Estado A teria impacto tanto no rio quanto no aquífero dentro do Estado B (**Figura 14**).

Como a área de influência se estende além da fronteira, o rio pode mudar de uma relação de ganho para uma relação de perda com o aquífero dentro do cone de depressão em ambos os lados do rio e, assim, em ambos os estados. No segundo cenário (**Figura 13**), na medida em que isso tenha um impacto significativo na capacidade do Estado B de usar ou aproveitar de sua parte equitativa e razoável da água do rio, o Estado B pode ter uma reivindicação de responsabilidade contra os danos produzidos pelo Estado A. Além disso, como o cone de depressão se estende até o Estado B, o bombeamento no Estado A pode alterar o caminho natural do fluxo do aquífero dentro da área de influência do cone e fazer com que a água subterrânea flua do Estado B através da fronteira para o Estado A. Quando esse fluxo impacta significativamente a capacidade do Estado B de extrair, usar ou aproveitar da água do aquífero, o Estado A pode ser responsabilizado pelos danos gerados ao Estado B.

As Figuras 12, 13 e 14 mostram condições em um único ponto no tempo; no entanto, nos aquíferos sujeitos ao bombeamento, os caminhos de fluxo mudam ao longo do tempo à medida que o bombeamento prossegue. Disponibiliza-se uma série de vídeos mostrando os caminhos de fluxo variáveis ao longo do tempo em condições de bombeamento em um aquífero transfronteiriço semelhante ao Modelo A:

- Vídeo 1 (**Figura 15**) mostra uma visualização em seção transversal.
- Vídeo 2 (**Figura 16**) mostra uma visualização tridimensional.
- Vídeo 3 (**Figura 17**) mostra ambas as visualizações e inclui explicações das mudanças que ocorrem à medida que o bombeamento prossegue.

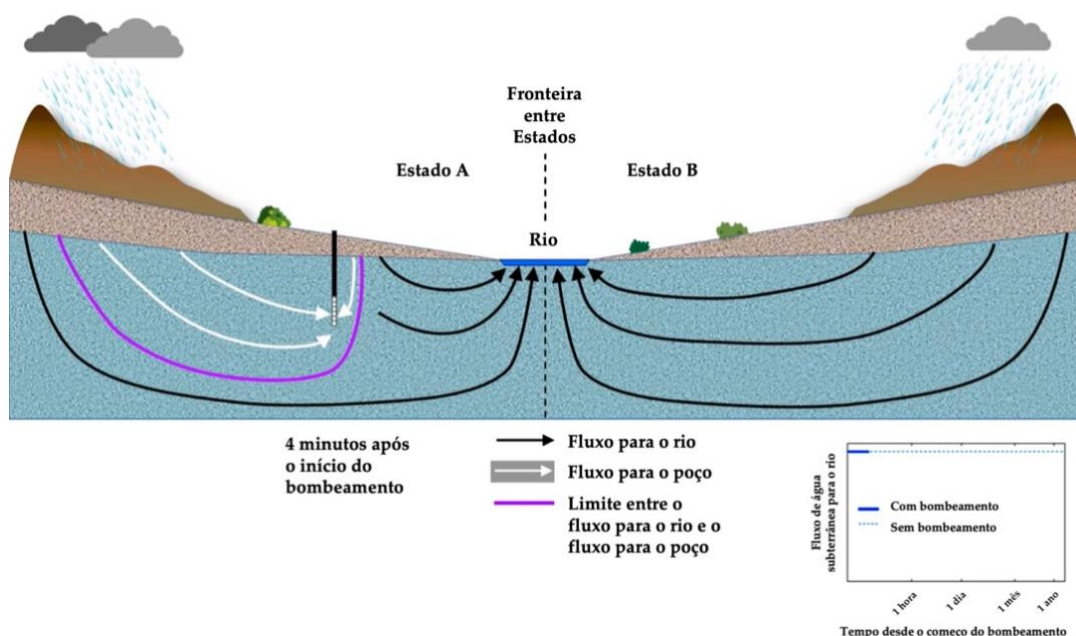


Figura 15 - Esta imagem foi extraída de um vídeo [\[link\]](#) que mostra uma animação da variação no tempo dos caminhos do fluxo de água subterrânea em virtude das condições de bombeamento no aquífero transfronteiriço conectado a um rio efluente similar ao exposto no Modelo A. O vídeo está disponível ao clicar no link desta legenda, indicado pela seta branca na caixa vermelha.

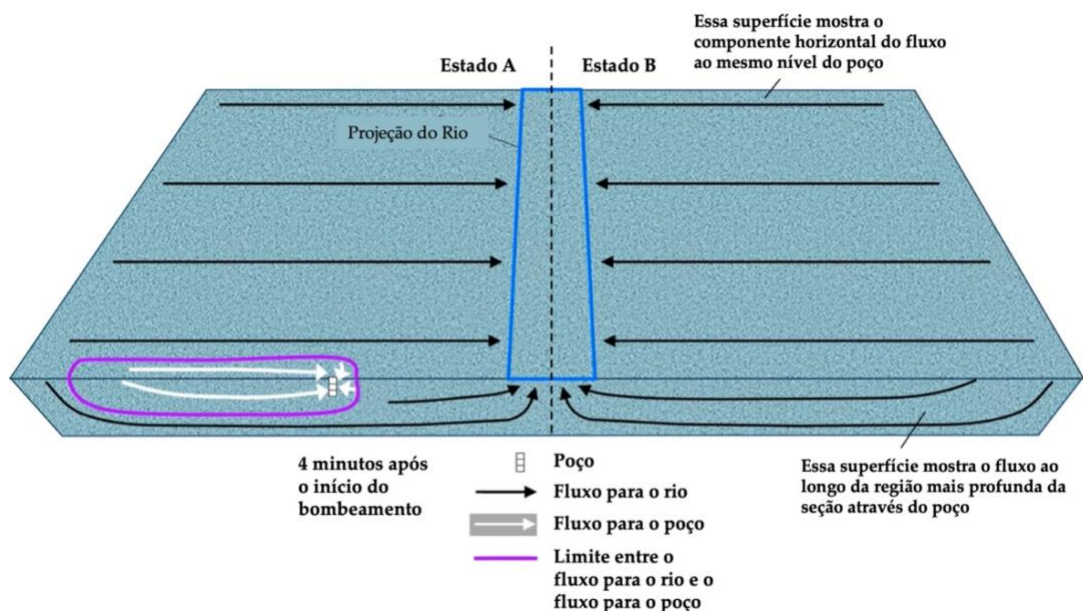


Figura 16 - Esta imagem foi extraída de um vídeo [\[link\]](#) que mostra uma animação da variação no tempo dos caminhos do fluxo de água subterrânea em profundidade em um aquífero transfronteiriço conectado a um rio efluente em condições de bombeamento semelhantes ao exposto no Modelo A. Esta visualização representa a componente horizontal do fluxo em um plano na profundidade do poço, com a localização do rio na superfície terrestre projetada para essa profundidade, e mostra o fluxo ao longo de uma seção transversal através do poço. O vídeo está disponível ao clicar no link desta legenda, indicado pela seta branca na caixa vermelha.

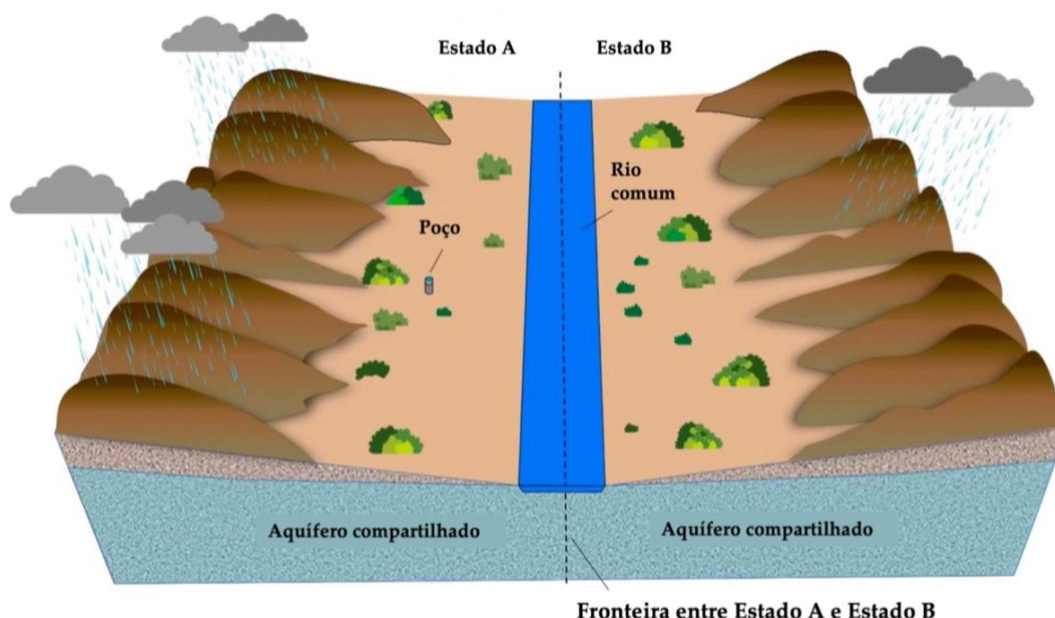


Figura 17 - Esta imagem foi extraída de um vídeo  que mostra uma animação de um aquífero transfronteiriço hipotético conectado a um rio efluente. Tanto o aquífero quanto o rio são compartilhados pelos Estados A e B. Este vídeo ilustra como o fluxo de água subterrânea muda quando o Estado A bombeia de um poço próximo à fronteira. O vídeo está disponível ao clicar no link indicado pela seta branca na caixa vermelha nesta legenda.

Embora a discussão tenha se centrado nas consequências potenciais transfronteiriças para a quantidade de água, também podem existir questões de qualidade de água. Um aquífero transfronteiriço hidrologicamente conectado a um rio efluente e contíguo pode gerar problemas relacionados à qualidade da água transfronteiriça. Um rio contíguo, naturalmente fluente e efluente, que divide um aquífero livre, impedirá que os poluentes e outras características negativas de um lado do aquífero atravessem para o outro lado, atraindo-os para o rio. Assim, se um dos estados ribeirinhos introduzir poluentes no rio (**Figura 18**), devido à contribuição de água do aquífero para o rio, o aquífero no outro estado não seria contaminado. Naturalmente, o estado que introduz a poluição seria responsável e potencialmente passível de responsabilidade por quaisquer consequências no rio e para os ribeirinhos que utilizam o rio a jusante do ponto de contaminação. Da mesma forma, se o Estado A introduzir artificialmente poluentes no aquífero dentro de seu próprio território, esses contaminantes poderiam ser atraídos para o rio e contaminá-lo, já que o rio é efluente (**Figura 18**). Isso também poderia resultar em responsabilidade pela remediação para o Estado A.

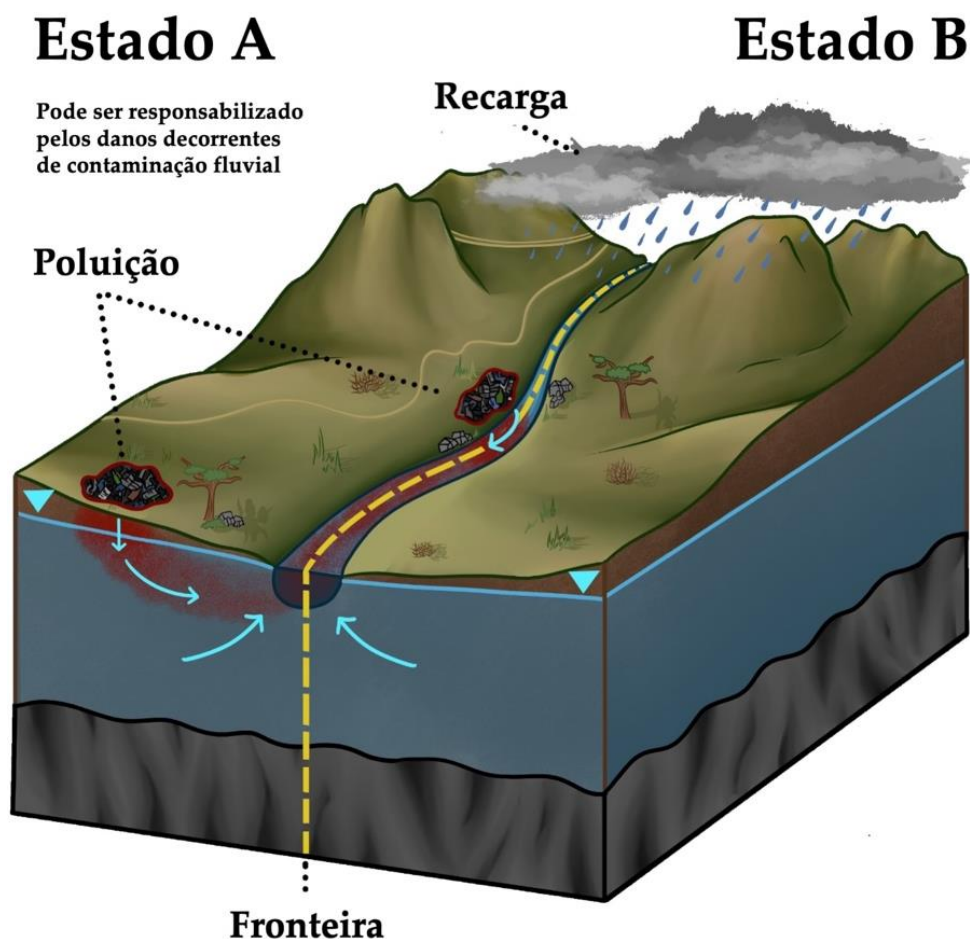


Figura 18 - Sob condições naturais (sem bombeamento) no Modelo A com um rio efluente, a poluição na superfície terrestre entra na água subterrânea subjacente e migra para o rio. A parte frontal da imagem mostra o fluxo de água subterrânea e a pluma de poluição ao longo da seção transversal A1. O Estado B e os usuários do rio a jusante têm uma possível reivindicação de responsabilidade contra o Estado A pelas consequências do rio poluído.

Com base neste exemplo, assumimos que, após o Estado A poluir o aquífero do seu lado da fronteira, o Estado B começa a extrair vazões substanciais de água subterrânea dentro de seu território, de modo que a área de influência se estende para além de sua fronteira, alcançando o Estado A (**Figura 19**). À medida que a área de influência do poço do Estado B se expande além da fronteira, a água subterrânea contaminada debaixo do Estado A é atraída em direção ao poço de bombeamento, permitindo sua migração e acarretando a contaminação do aquífero no Estado B. Nesse cenário, o Estado A poderia até ser considerado responsável pela contaminação do aquífero no Estado B. No entanto, a imposição de responsabilização do Estado A pela reparação dos danos decorrentes da contaminação da porção do aquífero do Estado B dependeria de fatos e circunstâncias adicionais. Por exemplo, se o Estado B sabia sobre a contaminação no Estado A antes de bombear o aquífero, mas ainda assim continuou suas intensas atividades de bombeamento, ele pode ser considerado o responsável pela migração; portanto, não teria qualquer

reivindicação de responsabilidade de reparação de danos contra o Estado A. Alternativamente, se o Estado A sabia sobre a contaminação antrópica em seu território e a probabilidade de ela atravessar a fronteira em resposta ao bombeamento no Estado B, e se o Estado A não forneceu esse conhecimento ao Estado B de maneira oportuna, o Estado A poderia ser considerado responsável por parte ou por todo o dano transfronteiriço ao Estado B. Da mesma forma, se o Estado A for considerado responsável por acelerar ou aumentar o fluxo transfronteiriço por meio de alguma intervenção, isso também poderia resultar em uma determinação de responsabilidade para o Estado A. Em contrapartida, se o Estado B for considerado responsável por acelerar ou aumentar o fluxo transfronteiriço por meio de suas atividades, o Estado B pode ser considerado responsável pela migração transfronteiriça dos contaminantes, o que pode absolver o Estado A de parte ou de toda a responsabilidade relativa à contaminação.

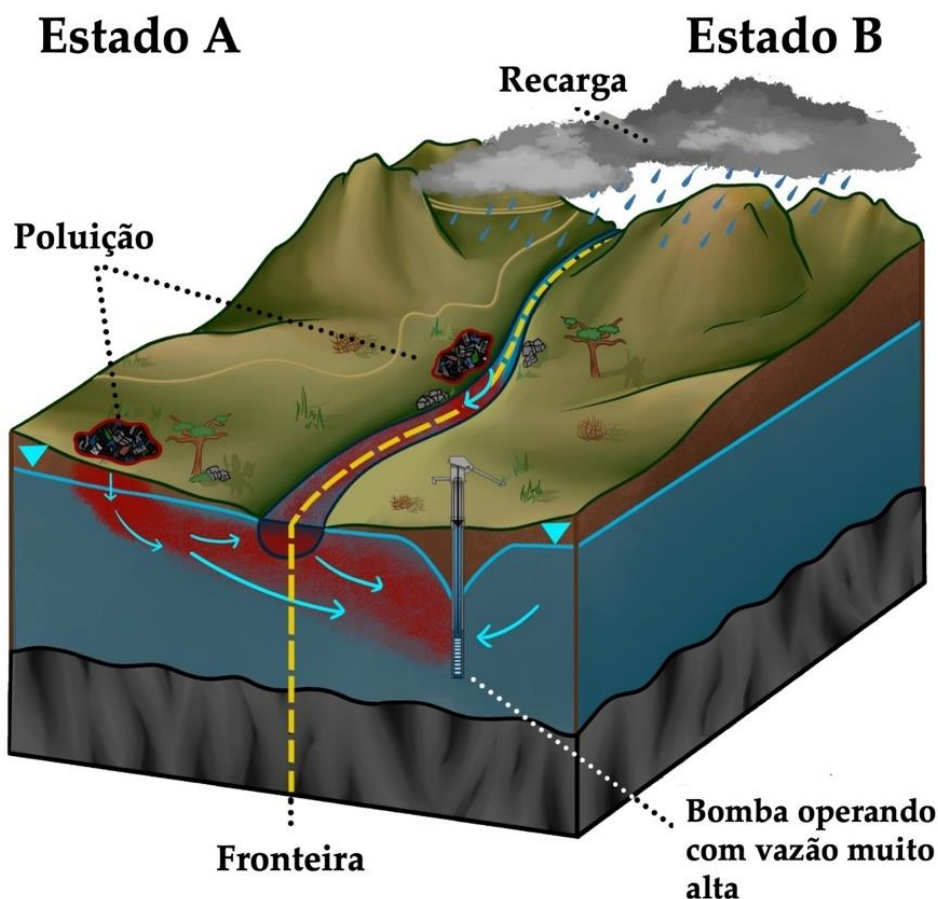


Figura 19 - O Estado B bombeia a uma vazão elevada no Modelo A, com um rio efluente. A poluição da superfície terrestre infiltra-se nas águas subterrâneas sob o Estado A, e essas águas contaminadas descarregam no rio. A parte frontal da imagem mostra o fluxo de água subterrânea e a pluma de poluição ao longo da seção transversal A1. A área de influência do poço de bombeamento do Estado B se estende além da fronteira até o Estado A, e a água subterrânea contaminada é atraída para o poço do Estado B; parte da água subterrânea contaminada também descarrega no rio. A responsabilidade por este cenário depende não apenas das condições hidrológicas, mas também de circunstâncias adicionais, como o conhecimento fornecido por um Estado ao outro. Por exemplo, o Estado A pode ser responsável pelas consequências danosas ao rio e ao aquífero contaminados; no entanto, se o Estado B sabia sobre a contaminação antes de começar o bombeamento, isso poderia enfraquecer sua reivindicação. Por outro lado, se o Estado A não notificou o Estado B sobre a poluição, isso poderia fortalecer a reivindicação do Estado B.

Em um cenário um tanto semelhante, mas distinto, considere uma situação em que características negativas são encontradas naturalmente na seção do aquífero do Estado A — por exemplo arsênio ou flúor (contaminação geogênica). Usando nosso exemplo no Modelo A de um aquífero transfronteiriço hidrológicamente ligado em a um rio efluente e contíguo, esses contaminantes poderiam ser atraídos para o rio e contaminá-lo. Como no exemplo anterior, a caracterização da responsabilidade e a obrigação de reparar os danos dependeria de vários fatores.

No cenário mais simples, em que ambos os estados não tomam nenhuma ou poucas ações em relação ao aquífero, devido à origem natural dos contaminantes, o Estado A não seria responsável perante o Estado B ou qualquer estado a jusante por quaisquer

consequências prejudiciais sofridas pela migração natural desse contaminante para o rio ou para o segmento do aquífero do Estado B. No entanto, a responsabilidade e a possível obrigação de reparar os danos poderiam surgir se o Estado A realizar ações que acelerem ou aumentem esse fluxo e, assim, causem danos ao Estado B ou aos ribeirinhos a jusante.

Em contrapartida, se o próprio Estado B realizar qualquer ação que acelere ou aumente essa migração, como bombear água do aquífero dentro de seu território, o Estado A não seria responsável pelos danos resultantes ao Estado B. Uma possível exceção a este último cenário pode ocorrer quando o Estado B não tem conhecimento dos contaminantes naturais no aquífero no Estado A, e o Estado A sabe da presença desses contaminantes e sabe que o bombeamento do Estado B causaria a migração dos poluentes, mas não fornece essa informação ao Estado B de maneira oportuna.

Embora os cenários fornecidos nesta discussão descrevam implicações transfronteiriças que se iniciam a partir de um rio contíguo e um aquífero hidrologicamente conectado por meio de uma relação de ganho (rio efluente), consequências transfronteiriças também podem surgir para casos em que o parâmetro é o de um rio que perde água para o aquífero (rio influente). Em tal exemplo, os caminhos de fluxo da água subterrânea dentro do aquífero tipicamente se moveriam paralelamente ou se afastariam da fronteira do rio (Figura 20)."

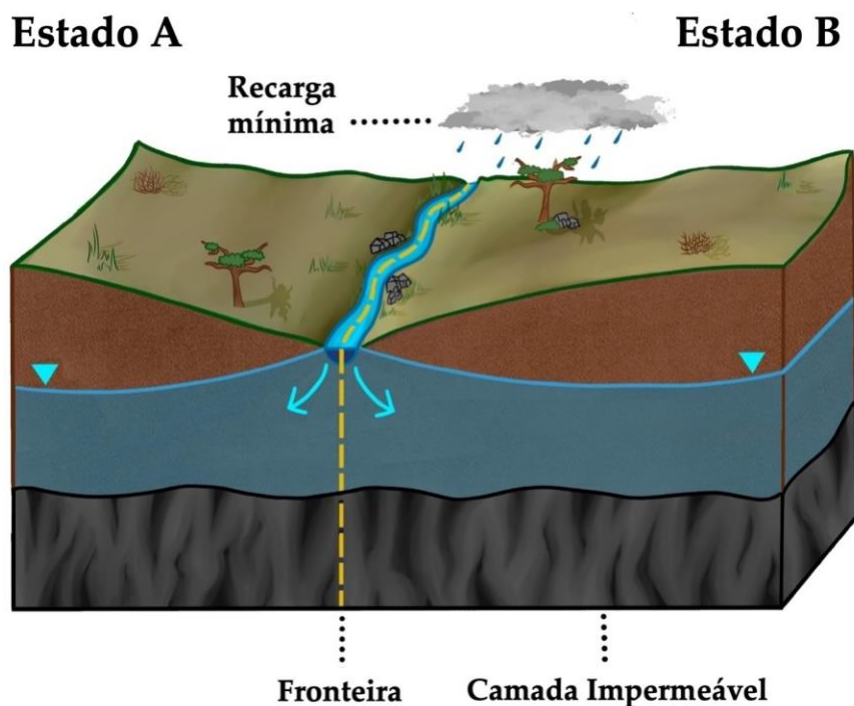


Figura 20 - Modelo A com um rio influente e condições hidrológicas naturais (sem bombeamento), mostrando o nível freático e as direções do fluxo de água subterrânea ao longo da seção transversal A1.

Neste caso, atividades de extração artificial dentro do Estado A não afetariam a seção do aquífero localizada no Estado B (Figura 21), desde que a bombeamento esteja

abaixo da capacidade natural do aquífero de se reabastecer. Se a extração no Estado A for excessiva, o impacto afetaria primeiro o rio na fronteira, aumentando a relação de perda dentro da área de influência do cone de depressão ao atrair água adicional do rio—além da infiltração natural—na direção do poço até que o nível freático caísse completamente abaixo do leito do rio (**Figura 22**). Essa ação poderia resultar em uma consequência transfronteiriça, já que o Estado A reduziria o fluxo e o volume de água no curso d'água, o que seria sentido a jusante em ambos os lados da fronteira. Embora tal ação evidencie a responsabilidade do Estado A pelo resultado, se esse desvio de fluxo tiver um impacto significativo na capacidade do Estado B de usar e beneficiar-se da água do rio de maneira equitativa e razoável, o Estado B poderia ter uma reclamação de responsabilidade contra o Estado A em relação aos danos causados.

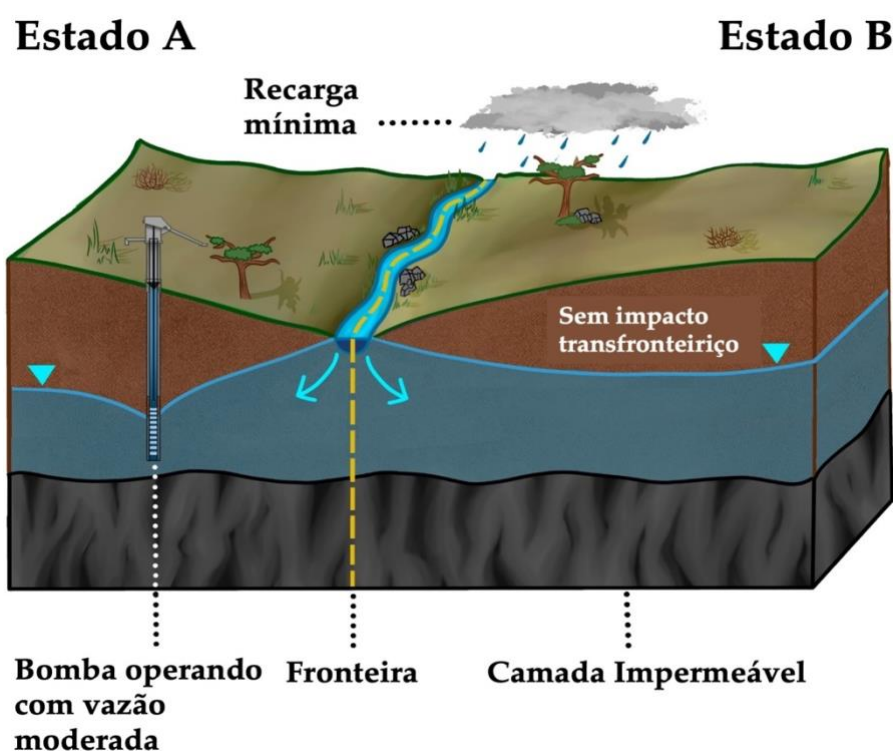


Figura 21 - O Estado A bombeia a uma vazão moderada no Modelo A, com um rio influente. Suas atividades de bombeamento excedem a capacidade natural do aquífero de se reabastecer, produzindo a configuração do nível freático e as direções de fluxo da água subterrânea mostradas ao longo da seção transversal A1 na parte frontal desta imagem. A área de influência do poço de bombeamento não alcança o rio e há apenas um impacto mínimo no fluxo do rio. Portanto, não há impacto transfronteiriço no Estado B.

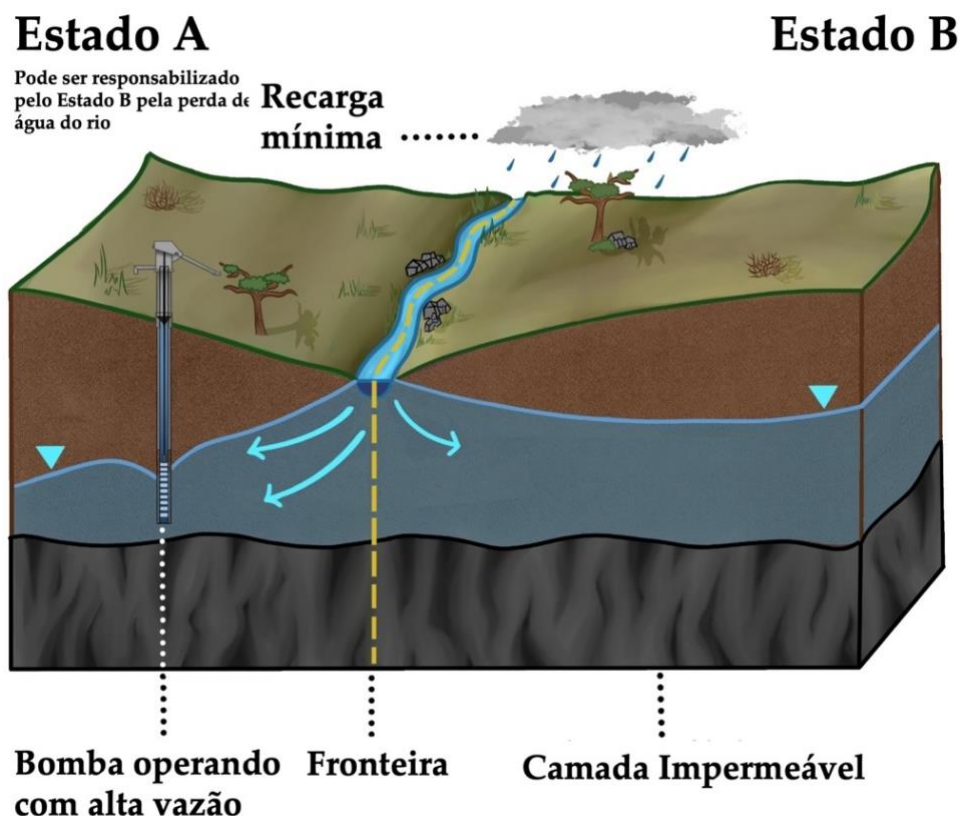


Figura 22 - O Estado A bombeia a uma vazão elevada no Modelo A com um rio influente, produzindo a configuração do nível freático e as direções de fluxo da água subterrânea mostradas ao longo da seção transversal A1 na parte frontal desta imagem. A área de influência do poço de bombeamento alcança o rio, aumentando o fluxo de água do rio para o aquífero no Estado A e reduzindo o fluxo no rio. Se esse desvio de fluxo tiver um impacto significativo no uso da água do rio pelo Estado B, o Estado B pode ter uma reivindicação de responsabilidade pela reparação dos danos contra o Estado A.

Além disso, se o bombeamento do Estado A continuasse a aumentar, eventualmente a área de influência ao redor do poço de extração do Estado A se estenderia por baixo do rio contíguo até o Estado B, inicialmente retirando água do armazenamento na seção do aquífero localizada dentro do Estado B, seguida pela captura da recarga do aquífero no Estado B (**Figura 23**). Assim, como no exemplo anterior (**Figura 22**), na medida em que a diminuição da vazão prive o Estado B do uso e benefício equitativo e razoável da água do rio ou na medida em que a capacidade de extrair, usar ou aproveitar a água subterrânea dentro de seu território seja negativamente impactada, o Estado B pode ter uma reivindicação de responsabilidade pela reparação dos danos contra o Estado A.

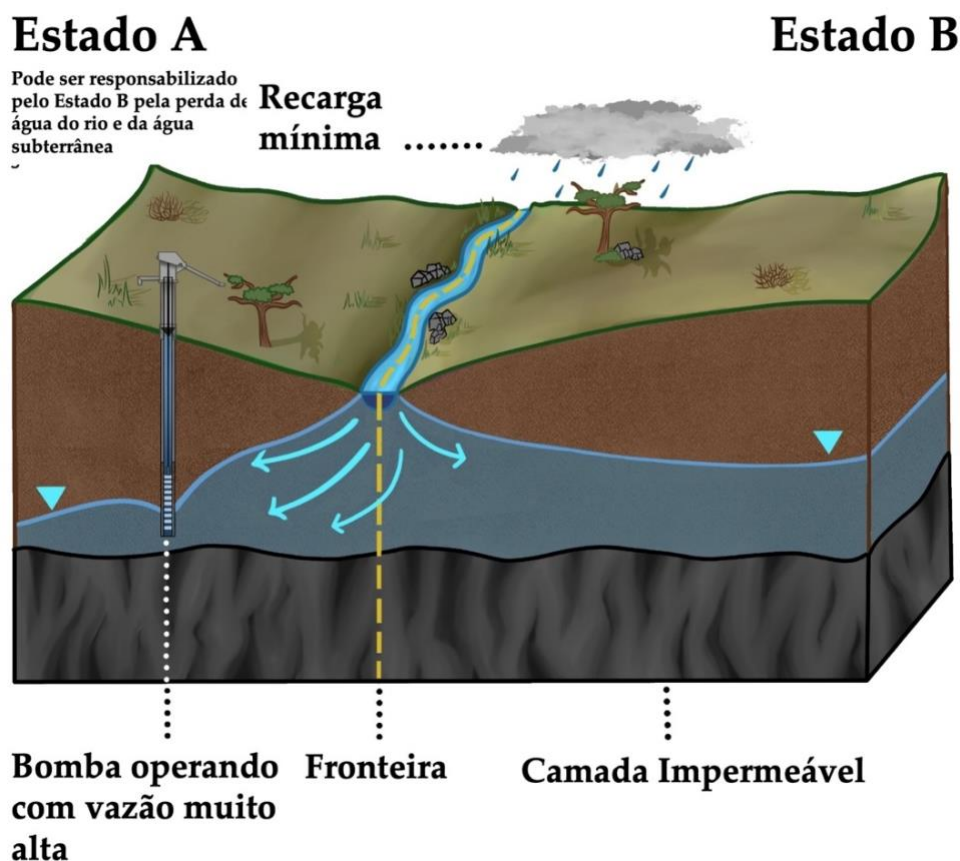


Figura 23 - O Estado A bombeia a uma vazão muito elevada no Modelo A, com um rio influente, produzindo a configuração do nível freático e as direções de fluxo da água subterrânea mostradas ao longo da seção transversal A1 na parte frontal desta imagem. A área de influência do poço de bombeamento se estende além do rio até o Estado B, fazendo com que o poço retire água da parte do aquífero localizada no Estado B. Se essa diminuição da água subterrânea afetar significativamente o uso da água subterrânea pelo Estado B, este pode ter uma reivindicação de responsabilidade contra o Estado A pela perda do uso tanto da água do rio quanto da água subterrânea.

O potencial hidráulico e os padrões de fluxo de um rio influente e contíguo dividindo um aquífero livre podem servir como barreira para poluentes ou outras ameaças, impedindo-os de fluir de um lado do aquífero através da fronteira política para o lado oposto. Como os caminhos de fluxo da água subterrânea em ambas as seções do aquífero se afastam do rio que o atravessa, é improvável que qualquer contaminação subterrânea encontrada no Estado A impacte o aquífero no Estado B. No entanto, poluentes introduzidos ou originados em um rio influente poderiam facilmente infiltrar-se no aquífero em ambos os lados do rio, exacerbando assim as implicações transfronteiriças tanto através do rio quanto do aquífero (**Figura 24**). Se o Estado A for considerado responsável pela poluição do rio, possivelmente seria também passível de responsabilidade pela reparação dos danos causados pela contaminação das seções do aquífero hidrologicamente conectadas no Estado B.

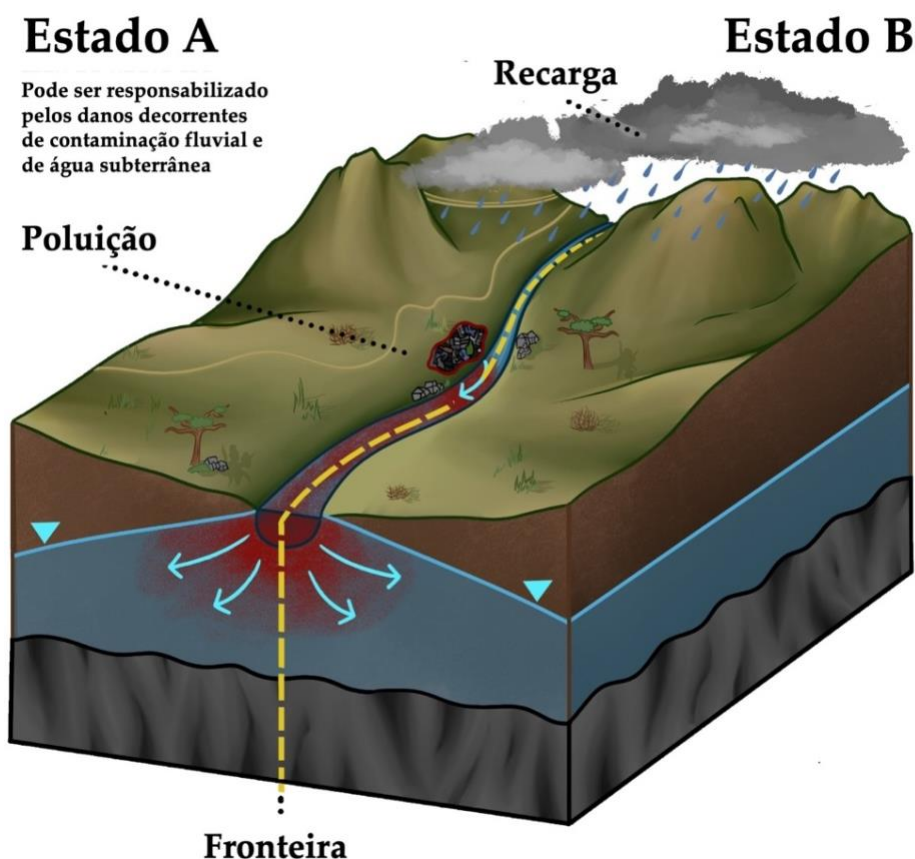


Figura 24 - Sob condições naturais (sem bombeamento) no Modelo A com um rio influente, a poluição diretamente introduzida no rio no Estado A subsequentemente migra através do leito do rio para o aquífero. O fluxo de água subterrânea e a pluma de poluição são mostrados ao longo da seção transversal A1 na parte frontal desta imagem. Isso cria uma base para a responsabilidade do Estado A perante o Estado B e os usuários do rio a jusante pelas consequências do rio poluído, bem como para o Estado B com base no impacto da contaminação no aquífero do seu lado da fronteira.

Portanto, se o Estado A fosse responsável por contaminar o rio e a extração de água subterrânea no Estado B excedesse a taxa de recarga natural do aquífero, o cone de depressão poderia eventualmente se estender até o rio influente, aumentando assim a infiltração de água contaminada do rio na seção do aquífero do Estado B (**Figura 25**). No entanto, se o Estado A contaminasse o aquífero dentro de seu território, essa contaminação não fluiria para o Estado B, a menos que o Estado B começasse a bombear intensivamente o aquífero, fazendo com que sua área de influência se estendesse até a jurisdição do Estado A, e então o fluxo natural da água subterrânea dentro da área de influência no Estado A mudaria de direção e passaria a fluir em direção ao poço do Estado B (**Figura 26**). Nesse caso, embora o Estado A fosse responsável pela contaminação inicial, o Estado B seria o responsável por causar a migração dessa contaminação de forma mais rápida para o seu território. Assim, é improvável que o Estado A seja responsabilizado pelos danos ao Estado B, a menos que outros fatores atenuantes fossem estabelecidos, incluindo alguns dos mencionados anteriormente — por exemplo, o conhecimento e os esforços de notificação do Estado A, e a conduta do Estado B, apesar de ter conhecimento.



Figura 25 - O Estado B bombeia a uma vazão elevada no Modelo A com um rio influente, e a poluição é introduzida diretamente no rio no Estado A. Esta poluição migra através do leito do rio para o aquífero. O fluxo de água subterrânea e a pluma de poluição são mostrados ao longo da seção transversal A1 na parte frontal desta imagem. A área de influência do poço de bombeamento do Estado B alcança o rio, aumentando o fluxo de água do rio para o aquífero no Estado B e reduzindo o fluxo no rio. Como resultado, isso intensifica o fluxo de poluição do rio para a porção do aquífero no Estado B. Isso cria uma base para a responsabilidade do Estado A perante o Estado B e os usuários do rio a jusante pelas consequências do rio poluído. A responsabilidade pelos danos e impactos causados no aquífero do lado da fronteira do Estado B depende não apenas das condições hidrológicas, mas também de circunstâncias adicionais, como o conhecimento fornecido por um Estado ao outro. Por exemplo, o Estado A pode ser responsável pelas consequências de um rio e aquífero contaminados; no entanto, se o Estado B soubesse da contaminação antes do bombeamento, isso poderia enfraquecer sua reivindicação. Por outro lado, se o Estado A não notificasse o Estado B sobre a poluição, isso poderia fortalecer a reivindicação do Estado B.

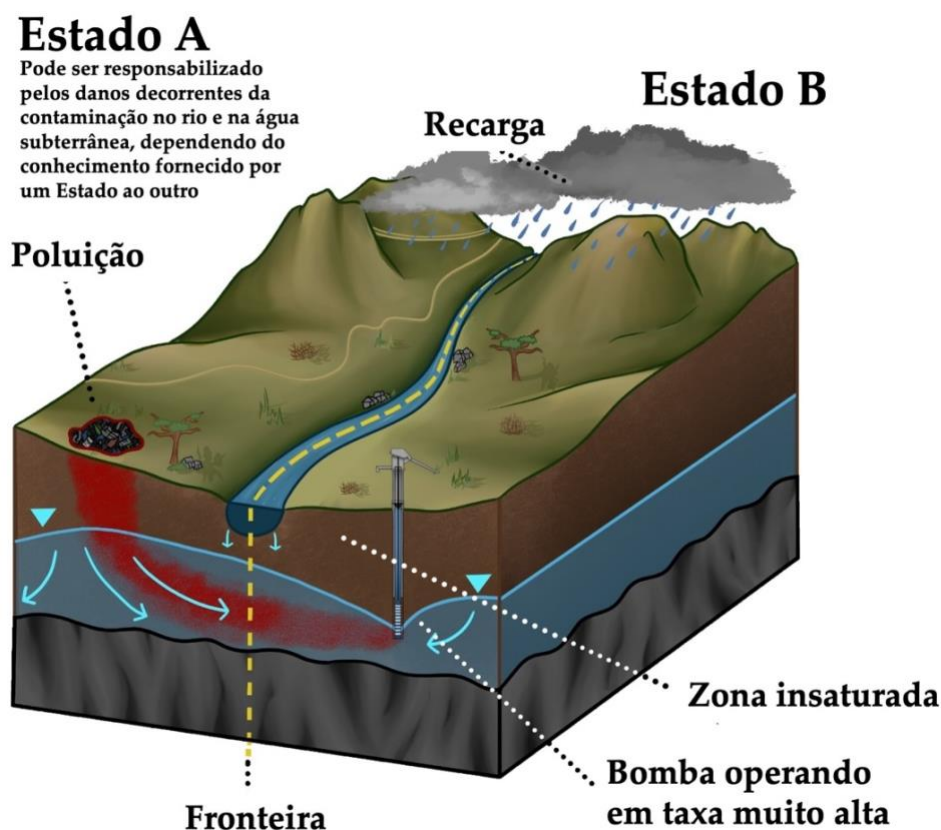


Figura 26 - O Estado B bombeia a uma vazão alta no Modelo A com um rio influente, e uma situação de contaminação das águas subterrâneas no Estado A. O fluxo de água subterrânea e a pluma de poluição são mostrados ao longo da seção transversal A1 na parte frontal desta imagem. Devido ao bombeamento no Estado B, o nível freático caiu abaixo do leito do rio e a água do rio passa a infiltrar através da zona não saturada para recarregar o aquífero, a uma taxa muito inferior à taxa de bombeamento. Como a área de influência do poço de bombeamento do Estado B se estende além do rio até o Estado A, o poço atrai a contaminação presente no Estado A em direção ao poço do Estado B. A responsabilidade de reparar o impacto no aquífero sob o Estado B depende não apenas das condições hidrológicas, mas também de circunstâncias adicionais, como o conhecimento fornecido por um Estado ao outro. Por exemplo, se o Estado B soubesse da contaminação da água subterrânea no Estado A antes de começar a bombear altas vazões do aquífero, sua reivindicação de responsabilidade contra o Estado A pela contaminação do poço do Estado B será enfraquecida. No entanto, não está claro se o Estado A era obrigado a informar ao Estado B sobre a contaminação da água subterrânea, uma vez que o fluxo natural do aquífero, antes das atividades de bombeamento do Estado B, era em direção oposta ao Estado B. Se o Estado B puder estabelecer que o Estado A tinha essa obrigação de notificação, a reivindicação do Estado B contra o Estado A será fortalecida.

Exemplos de aquíferos livres que atravessam uma fronteira política internacional e são hidrológicamente ligados a um rio transfronteiriço contíguo que divide o aquífero incluem os aquíferos *Red Light Draw*, *Hueco Bolson* e *Rio Grande*, que se encontram sob a fronteira entre os EUA e o México (**Figura 27**). Todos os três aquíferos são livres, diretamente conectados ao Rio Grande, e fluem ao longo da fronteira entre o estado do Texas, nos EUA, e o estado de Chihuahua, no México (Hibbs et al., 1998; International Boundary and Water Commission (IBWC), 1998).



Figura 27 - Mapa da extensão geográfica dos aquíferos livres transfronteiriços sob a fronteira dos EUA e México: Valle de Juarez Hueco Bolson (laranja), Conejos Medanos-Mesilla Bolson (azul claro) e Red Light Draw Bolson (roxo), e os aquíferos do Rio Grande. Todos esses aquíferos são livres e conectados diretamente ao Rio Grande (reproduzido de Rodriguez, 2022a).

Outro exemplo é o aquífero aluvial do Danúbio, que flui por baixo e está conectado ao Rio Danúbio, o qual forma as fronteiras entre Hungria e Eslováquia, Croácia e Sérvia, e Bulgária e Romênia, bem como atravessa múltiplas outras fronteiras nacionais europeias (Mijatovic, 1998). Um exemplo semelhante—mas em um contexto subnacional—inclui o aquífero aluvial livre do Mississippi nos EUA (**Figura 28**). Localizado sob os estados de Arkansas, Louisiana e Mississippi, este aquífero está hidrologicamente conectado ao Rio Mississippi, que forma os limites entre os estados de Arkansas e Mississippi e, mais a jusante, entre Louisiana e Mississippi (Renken, 1998).

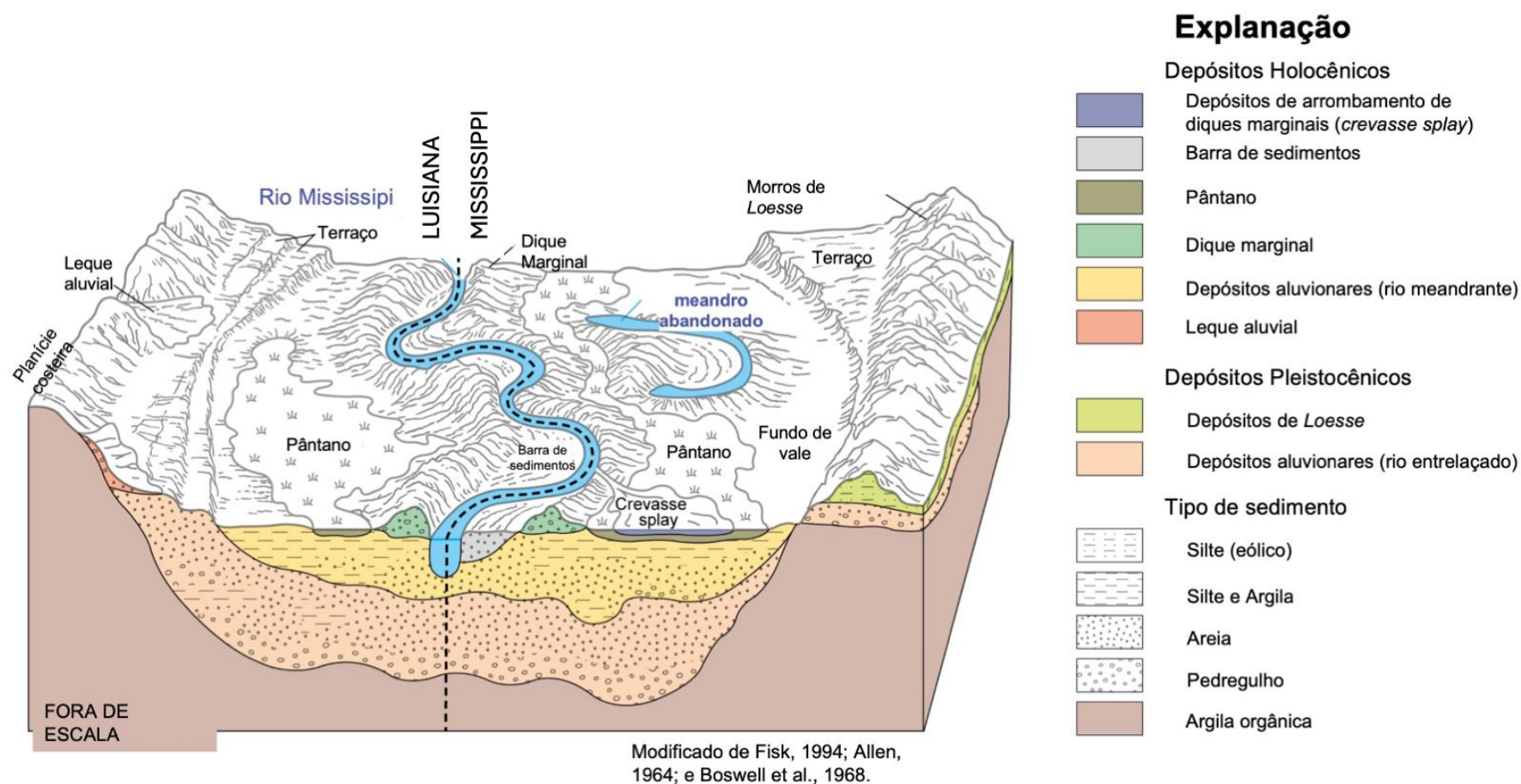


Figura 28 - Diagrama de blocos do Aquífero Aluvial do Mississippi, que está sob os estados de Arkansas, Louisiana e Mississippi, nos EUA. Este aquífero está hidrologicamente conectado ao Rio Mississippi, que estabelece os limites entre os estados de Arkansas e Mississippi e, mais a jusante, entre Louisiana e Mississippi (reproduzido de Renken, 1998).

4.2 Modelo B: Aquífero Livre Transfronteiriço Conectado Hidrologicamente a um Rio Sucessivo Transfronteiriço

O cenário ilustrado no Modelo B (**Figura 29**) é semelhante ao encontrado no Modelo A, pois descreve um aquífero livre intersectado por uma fronteira política e dividido por um rio transfronteiriço. A principal diferença, no entanto, é que o rio no Modelo B é um rio sucessivo—um rio que atravessa uma fronteira de uma jurisdição política para outra—em vez de um rio contíguo. Em outras palavras, a fronteira política divide tanto o aquífero quanto o rio hidrologicamente conectado. Neste modelo, o Estado A está posicionado como o ribeirão superior tanto do aquífero quanto do rio.

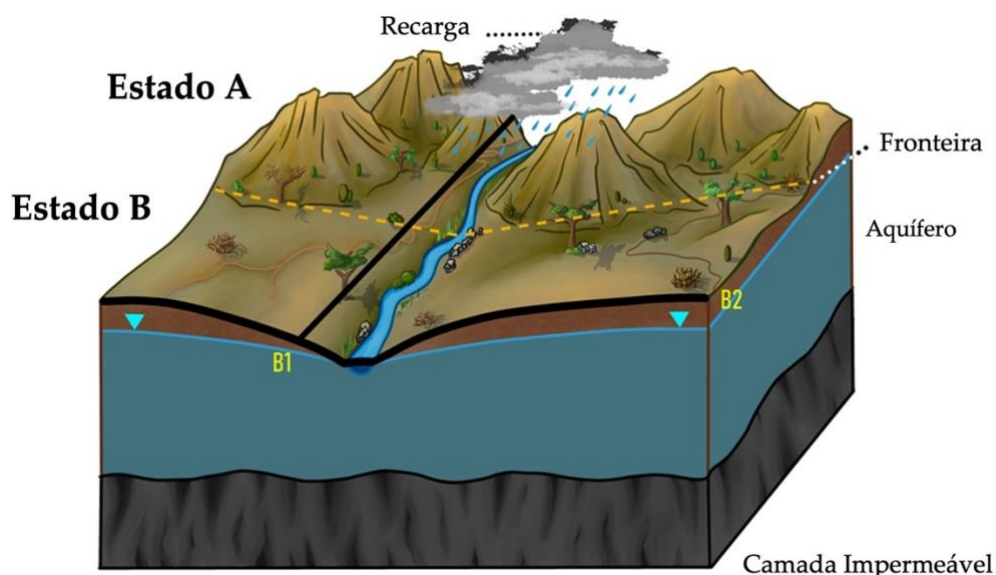


Figura 29 - Modelo B: Um aquífero livre intersectado por uma fronteira política e hidrologicamente conectado com um rio sucessivo e transfronteiriço. As linhas pretas rotuladas como B1 e B2 indicam locais de seções transversais que correm paralelamente e perpendicularmente ao rio, respectivamente. B1 e B2 são referenciados em diagramas subsequentes.

Conforme representado no Modelo B, tanto a água no aquífero livre quanto no rio hidrologicamente conectado fluem em grande parte em relação à inclinação e à gravidade que, em condições naturais, seria do Estado A para o Estado B (**Figura 30**).

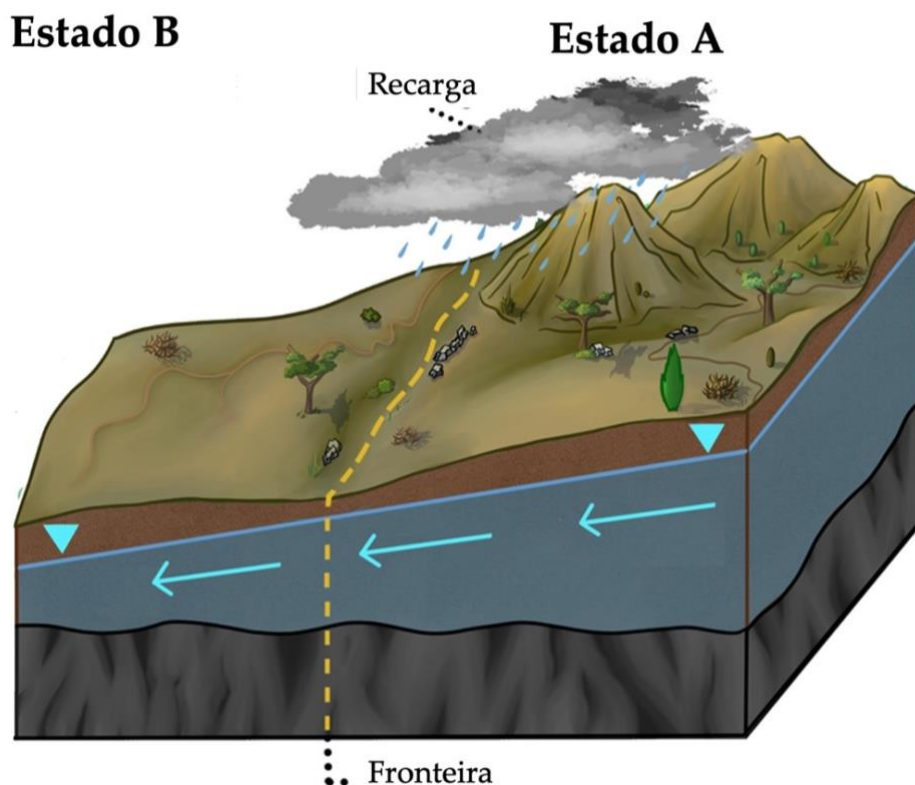


Figura 30 - Fluxo ao longo da seção transversal B1 do Modelo B sob condições hidrológicas naturais (sem bombeamento), mostrando o nível freático e as direções do fluxo de água subterrânea. A água subterrânea flui do Estado A para o Estado B.

Neste caso, há mais ocasiões em que o Estado A poderia causar impactos negativos ao Estado B. Em contrapartida, é improvável que qualquer extração artificial de água do rio ou do aquífero—ou contaminação desses corpos d'água—no Estado B afete o Estado A. Uma exceção é se o Estado B instalar poços ao longo de sua fronteira com o Estado A e bombear excessivamente o aquífero a ponto de acelerar ou aumentar o fluxo natural, privando assim o Estado A de usá-lo e diminuindo os níveis de água no Estado A de forma a comprometer a viabilidade econômica do bombeamento (**Figura 31**). No entanto, embora o Estado B possa ser responsável por privar o Estado A de alguma água subterrânea, a retirada teria que ser substancial, de modo a resultar em danos significativos ao Estado A, para ser acionável sob a direito internacional, dado que na **Figura 30**, a água subterrânea parece originar-se em grande parte no Estado A.

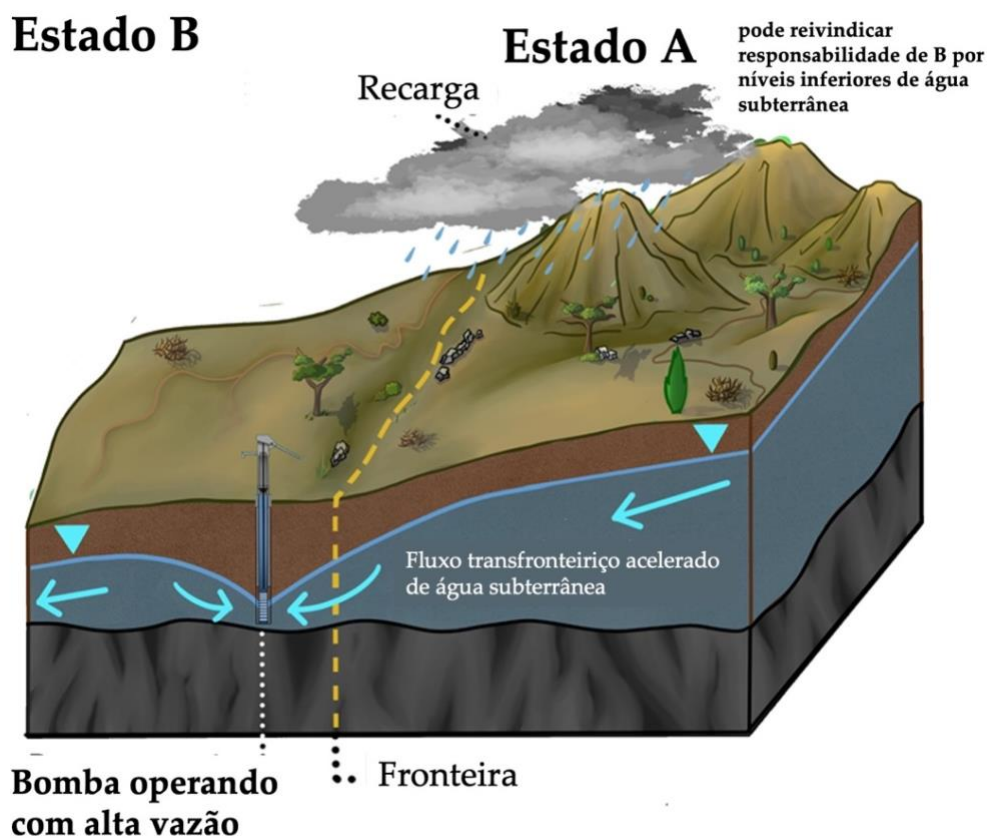


Figura 31 - Fluxo ao longo da seção transversal B1 do Modelo B sob condições hidrológicas naturais (sem bombeamento), mostrando o nível freático e as direções do fluxo de água subterrânea. A água subterrânea flui do Estado A para o Estado B.

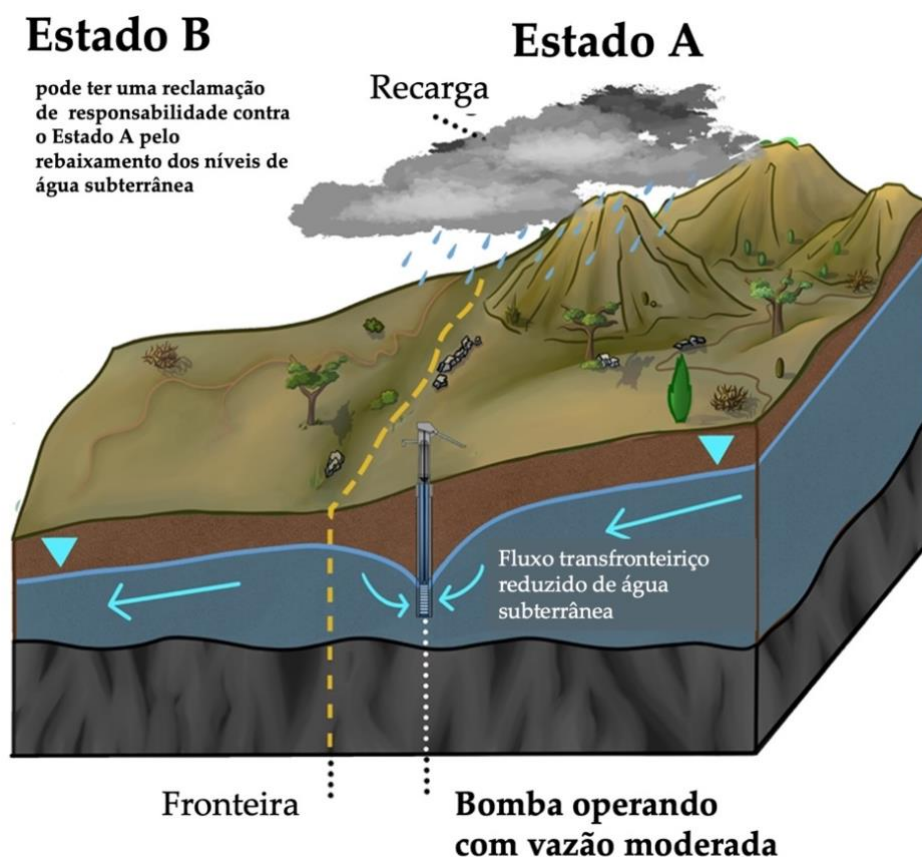


Figura 32 - Fluxo ao longo da seção transversal B1 do Modelo B com o Estado B bombeando elevadas vazões, diminuindo os níveis de água subterrânea no Estado A. O bombeamento faz com que o fluxo de água subterrânea através da fronteira do Estado A para o Estado B aumente dentro da área de influência do poço. O Estado A poderia fazer uma reclamação de responsabilidade contra o Estado B pela perda do uso da água subterrânea e da viabilidade econômica do bombeamento, mas apenas se a perda resultar em danos significativos para o Estado A.

Em contrapartida, qualquer extração artificial de água do rio ou do aquífero no Estado A poderia gerar impactos negativos no Estado B. Se, e em que medida, a conduta do Estado A está sujeita a responsabilidade dependeria de fatores como a relação do rio com o aquífero (se está ganhando ou perdendo água), o volume de água retirado e a extensão do impacto dessas circunstâncias no Estado B.

Em relação ao ganho ou perda de água, se o rio mantém uma relação ganhadora com o aquífero ao longo de todo o seu curso—como sugerido no Modelo B—qualquer desvio no Estado A impactará seu fluxo de água a jusante no Estado B. No entanto, isso terá pouco efeito no aquífero no Estado B, exceto quando o fluxo do rio for tão reduzido que aumente o fluxo de água subterrânea para o rio no Estado B devido à maior diferença de carga entre o aquífero e o rio (ou seja, a diferença entre a elevação do nível da água no aquífero e a elevação da superfície da água no rio).

Em contrapartida, qualquer extração do aquífero no Estado A poderia gerar impacto no fluxo de água transfronteiriço tanto no rio quanto no aquífero. Se o poço de bombeamento for instalado próximo ao rio, ele poderia reduzir o volume de água fluindo

do aquífero para o rio e, a jusante, para o Estado B. Quanto mais distante do rio ocorrer a retirada de água subterrânea, menor será o impacto no fluxo do rio nessa relação de ganho.

Outro exemplo em que o Estado A teria uma maior probabilidade de gerar um impacto negativo no Estado B, ocorre quando o Estado A instala um poço nas proximidades de sua fronteira com o Estado B (**Figura 32**). Embora isso possa reduzir o fluxo natural de água subterrânea para o Estado B, se o bombeamento for suficientemente forte, o Estado A poderia realmente reverter o fluxo natural de água subterrânea dentro do cone de depressão, fazendo com que ela flua de volta do Estado B para o Estado A em direção ao poço (**Figura 33**). No entanto, os efeitos de tal bombeamento seriam localizados e limitados à área de influência do poço e não afetariam o fluxo de água subterrânea em outros pontos ao longo da fronteira.

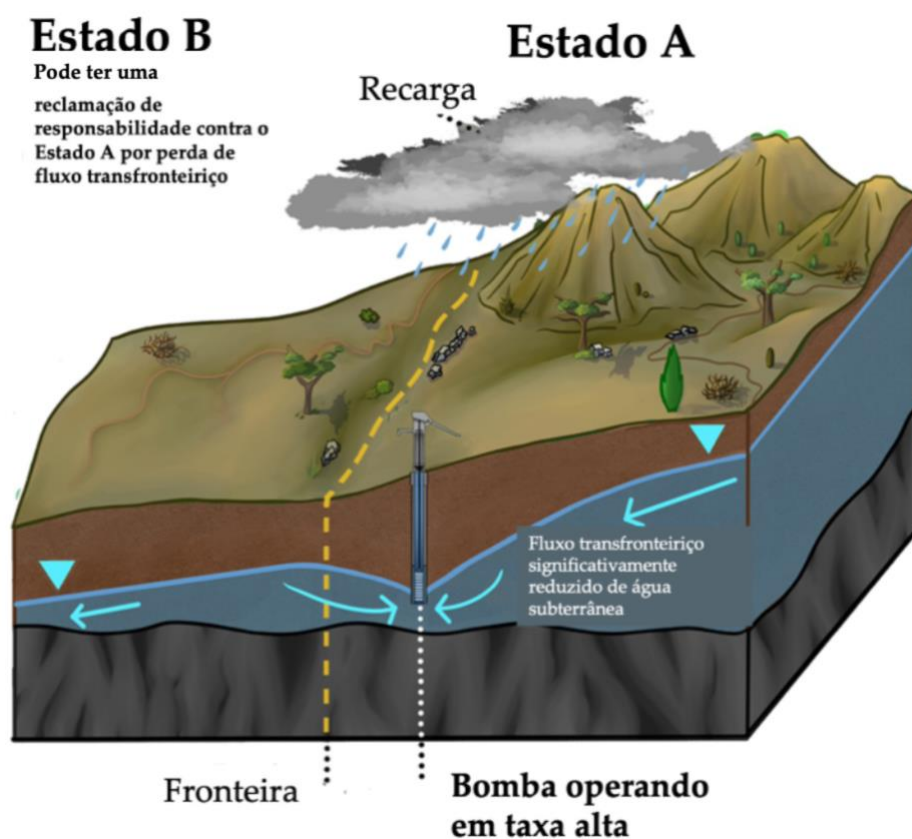


Figura 33 - Fluxo ao longo da seção transversal B1 do Modelo B com o Estado A bombeando vazões moderadas, diminuindo o nível freático. O bombeamento reduz o fluxo de água subterrânea através da fronteira do Estado A para o Estado B dentro da área de influência do poço. O Estado B tem uma possível reclamação de responsabilidade pela perda do uso da água subterrânea desde que resultem danos significativos para o Estado B.

O cenário descrito na **Figura 33** ocorreu ao longo da fronteira México-EUA nos estados de Sonora, México, e Arizona, EUA. No final da década de 1960, o México instalou um campo de poços ao sul da fronteira, perto de San Luís, no canto noroeste do estado mexicano de Sonora. Como resultado das atividades de bombeamento do México, a água

subterrânea que naturalmente fluía para o norte, em direção aos EUA, reverteu sua direção dentro da área de influência do campo de poços e começou a fluir em direção aos poços do México (**Figura 34**). A situação gerou tensões entre os dois ribeirinhos do aquífero e exigiu negociações (Mumme, 1988).

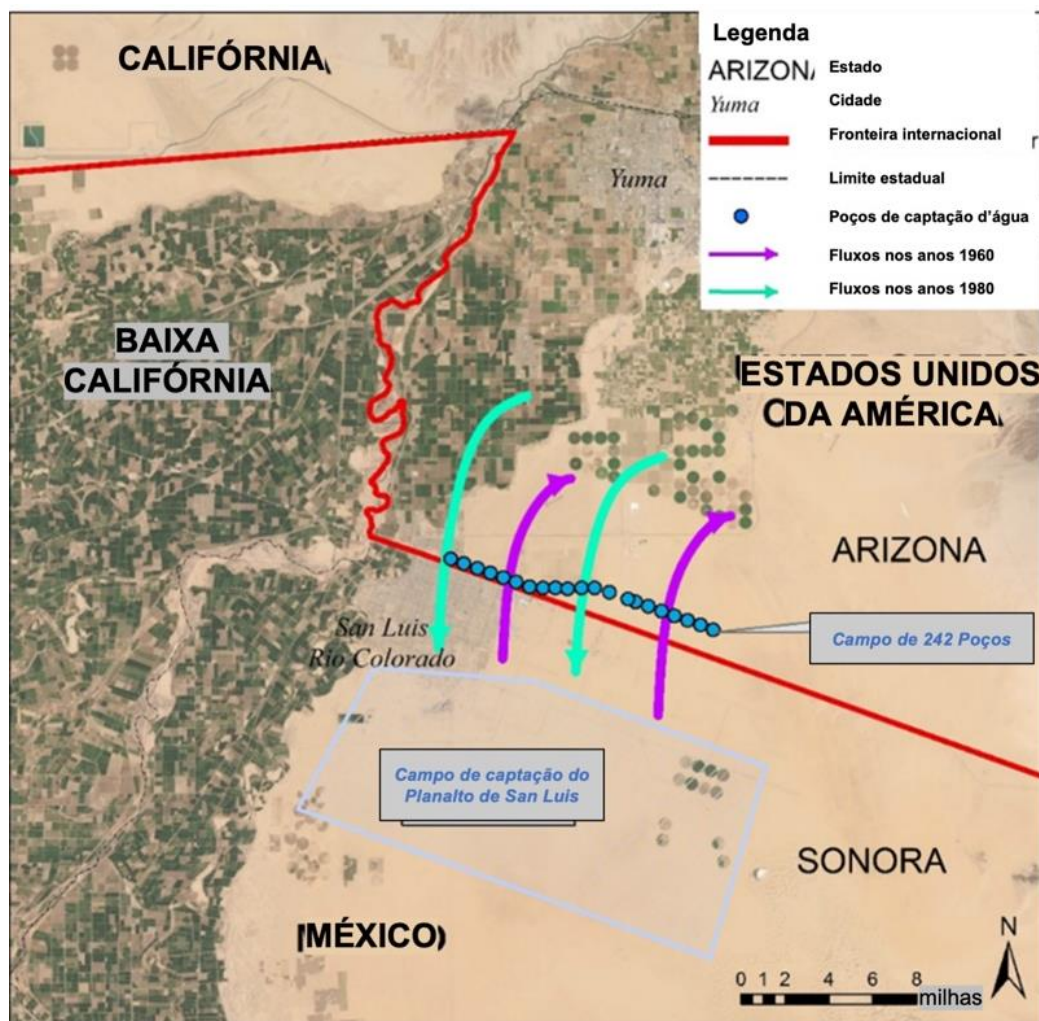


Figura 34 - Mapa mostrando a área da fronteira México-EUA onde, no final da década de 1960, o México instalou poços ao sul da fronteira, perto da cidade de San Luís, que reverteram o fluxo natural da água subterrânea, fazendo com que fluísse para o sul, em direção ao México (reproduzido de Rodriguez, 2022b). Após as negociações da Acta 242 entre as seções mexicana e americana da Comissão Internacional de Limites e Águas, os EUA instalaram seu próprio campo de poços ao longo da fronteira e os dois países restringiram o bombeamento dentro de cinco milhas da fronteira (Mumme, 1988).

Tendo como base os impactos na qualidade da água, como a relação aquífero-rio no Modelo B é caracterizada por um rio efluente, qualquer contaminação do rio no Estado A afetaria o uso da água do rio a jusante pelo Estado B, mas não teria impacto no aquífero no Estado B (**Figura 35**).

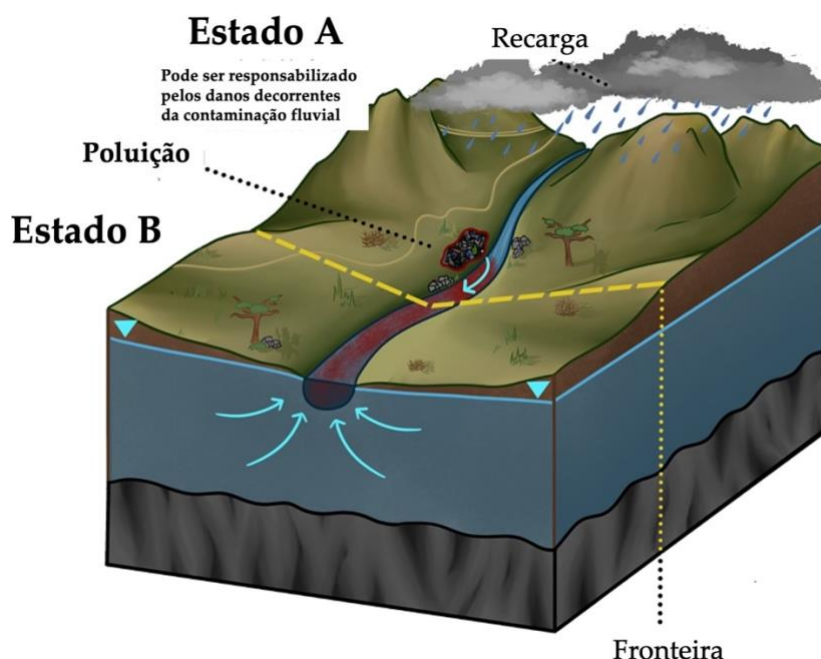


Figura 35 - Em condições naturais (sem bombeamento) no Modelo B, com um rio efluente, o Estado A contaminou o rio. As direções do fluxo de água subterrânea são mostradas ao longo da seção transversal B2 na parte frontal desta imagem. A água subterrânea no Estado B não foi contaminada graças à condição de rio efluente, mas o rio no Estado B está contaminado. O Estado B tem uma possível reclamação de responsabilidade pelos danos causados em virtude do rio contaminado.

No entanto, qualquer contaminação do aquífero no Estado A poderia gerar um impacto negativo tanto no rio quanto no aquífero no Estado B, pois os contaminantes chegariam ao Estado B tanto pelo rio efluente, quanto pelo fluxo de água subterrânea através da fronteira. Em contraste, se o rio for influente (perde água ao longo de seu curso), qualquer poluição ou outras características negativas originadas no rio no Estado A seriam carregadas a jusante e contaminariam o rio, bem como o aquífero em ambos os lados do rio nos Estados A e B (**Figura 36**).

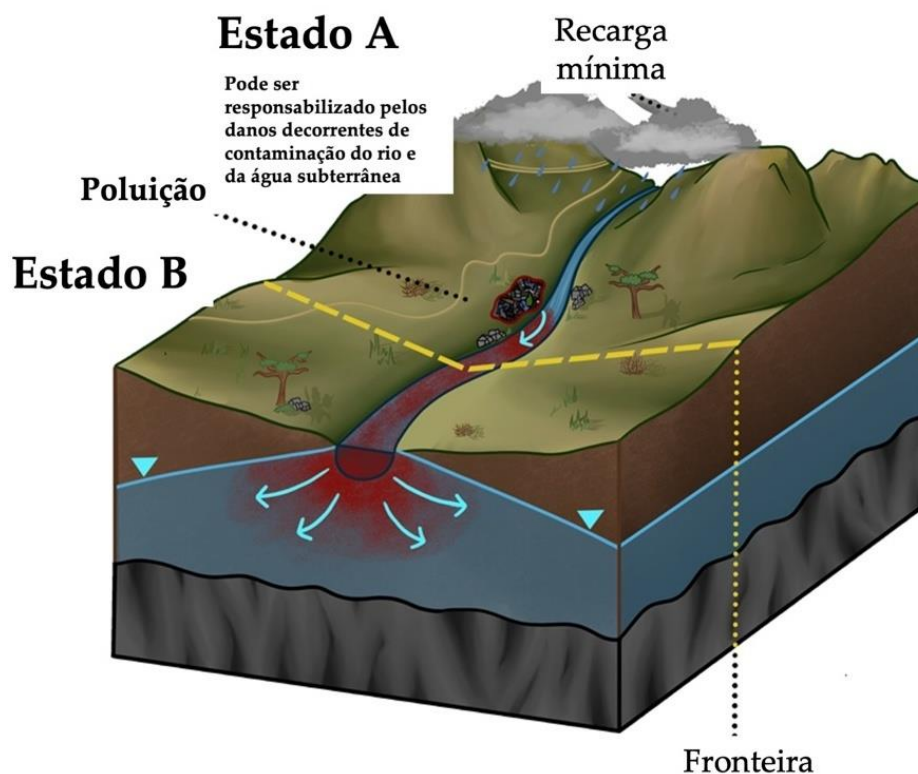


Figura 36 - Em condições naturais (sem bombeamento) no Modelo B com um rio influente, o Estado A contaminou o rio. As direções do fluxo de água subterrânea ao longo da seção transversal B2 no Modelo B são mostradas na parte frontal desta imagem. Tanto o rio quanto a água subterrânea no Estado B provavelmente estarão contaminados devido à condição de rio influente. O Estado B tem uma possível reclamação de responsabilidade pelas consequências da contaminação no rio e no aquífero.

No nível internacional, o aquífero *Abbotsford Sumas* (**Figura 37**) é um exemplo de um aquífero livre intersectado por uma fronteira política e ligado hidrológicamente com um rio sucessivo e transfronteiriço. Este aquífero atravessa a fronteira entre a província de British Columbia no Canadá e o estado de Washington nos EUA. Ele está diretamente conectado ao rio *Sumas*, ao riacho *Bertrand* e ao riacho *Fishtrap*, os quais fluem do Canadá para os EUA (British Columbia Ministry of Environment, s.d.).

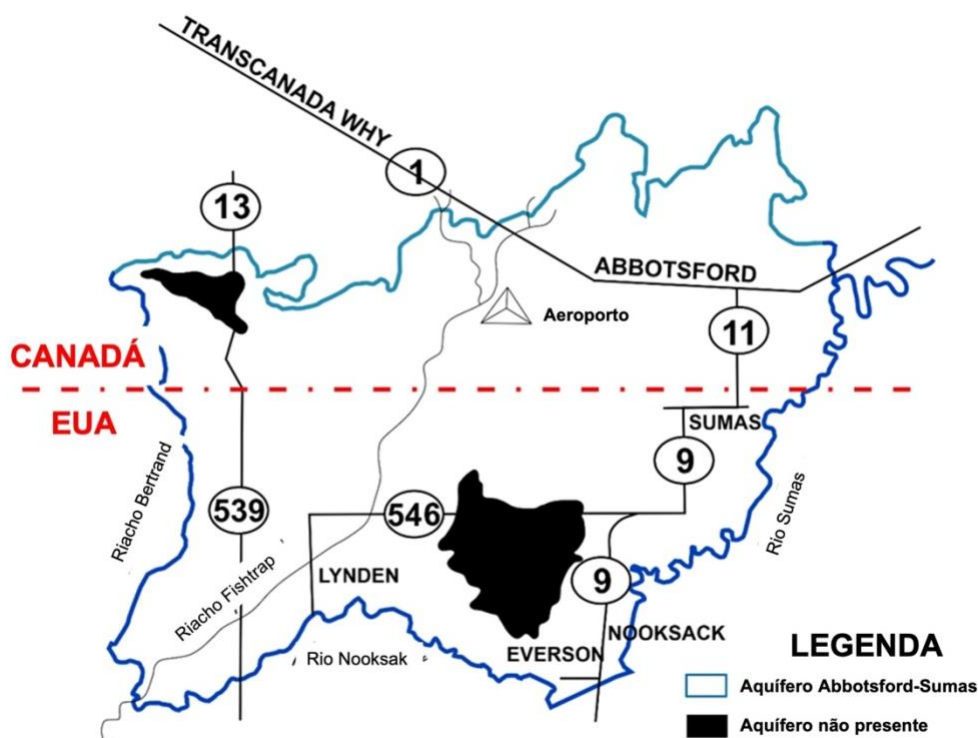


Figura 37 - Mapa da extensão geográfica do aquífero Abbotsford Sumas, um aquífero livre intersectado por uma fronteira política internacional e ligado hidrologicamente a um rio sucessivo e transfronteiriço. Este aquífero atravessa a fronteira entre a província de British Columbia no Canadá e o estado de Washington nos EUA e está hidrologicamente conectado ao rio Sumas, ao riacho Bertrand e ao riacho Fishtrap, os quais fluem do Canadá para os EUA. Os círculos numerados indicam os números das rotas para as estradas, representadas por linhas pretas. (modificado do *British Columbia Ministry of Environment*, s.d).

Outros dois exemplos incluem o aquífero Mures/Maros sob a Hungria e a Romênia, que está hidrologicamente conectado ao Rio Mures/Maros, um afluente do Rio Tisza, que deságua no Rio Danúbio (European Commission, 2007), e o Aquífero da Bacia do San Pedro, predominantemente livre (**Figura 38**), que atravessa a fronteira entre o norte de Sonora, no México, e o sul do Arizona, nos EUA, e está hidrologicamente ligado ao Rio San Pedro, que flui para o norte, nos EUA, e se une ao Rio Gila, um importante afluente do Rio Colorado (Arias, 2000).



Figura 38 - Mapa da extensão geográfica do Aquífero Transfronteiriço da Bacia do San Pedro. Este aquífero predominantemente livre atravessa a fronteira entre o norte de Sonora, no México, e o sul do Arizona, nos EUA, e está hidrologicamente ligado ao Rio San Pedro, que flui para o norte, nos EUA, e se une ao Rio Gila, um afluente do Rio Colorado (reproduzido de Rodriguez, 2022c).

No nível subnacional, o aquífero aluvial do Rio Canadian (**Figura 39**) é um exemplo de um aquífero livre que atravessa múltiplas fronteiras interestaduais nos EUA e está hidrologicamente ligado a um rio sucessivo e transfronteiriço. O rio se origina nas Montanhas Sangre de Cristo, no sul do Colorado, flui para sudeste, atravessando a fronteira para o Novo México, e depois para leste, entrando no Texas, Oklahoma e Arkansas antes de desaguar no Rio Arkansas (Ellis et al., 2017). Embora o aquífero aluvial conectado ao Rio Canadian não seja homogêneo ao longo de toda a extensão em que está conectado ao rio, ele atravessa abaixo das fronteiras Texas-Oklahoma e Oklahoma-Arkansas (Ryder, 1996; Oklahoma Water Resources Board, 2012a; Oklahoma Water Resources Board, 2012b).

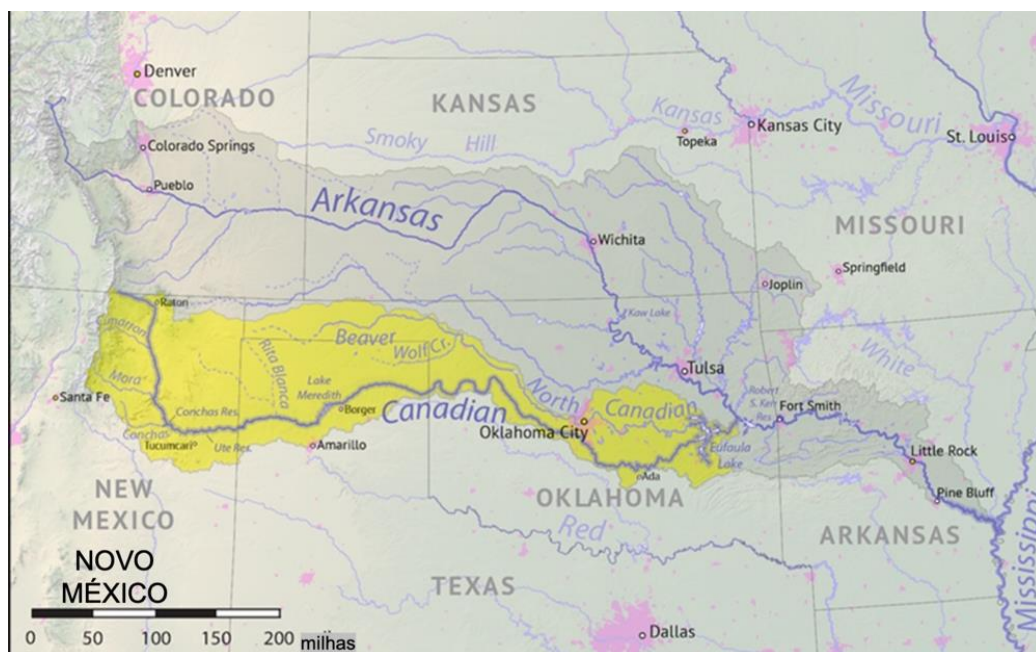


Figura 39 - Mapa da bacia de drenagem do Rio Canadian, que possui um aquífero aluvial conectado ao rio que atravessa as fronteiras Texas-Oklahoma e Oklahoma-Arkansas (“Canadian River Basin Map”, 2022).

4.3 Modelo C: Aquífero Livre Transfronteiriço Conectado Hidrologicamente a um Rio Doméstico

Assim como nos dois primeiros modelos, o Modelo C (**Figura 40**) representa um aquífero livre que é intersectado por uma fronteira política e está hidrologicamente conectado a um rio que divide o aquífero. Diferentemente dos dois primeiros modelos, o rio neste exemplo não flui através ou ao longo de qualquer fronteira; ao contrário, o rio é inteiramente doméstico dentro do território de uma das jurisdições — aqui, o Estado B.

Como resultado, uma característica fundamental deste modelo é que o caráter transfronteiriço deste exemplo de aquífero e rio está inteiramente no aquífero. Essa característica é importante porque as implicações transfronteiriças deste modelo dependem exclusivamente do fluxo de água subterrânea dentro do aquífero. Isso não significa que o rio neste modelo seja insignificante. Pelo contrário, o rio é importante na medida em que influencia o fluxo de água no aquífero, o que depende em grande parte de se ele tem uma relação de ganho ou perda de água com o aquífero.

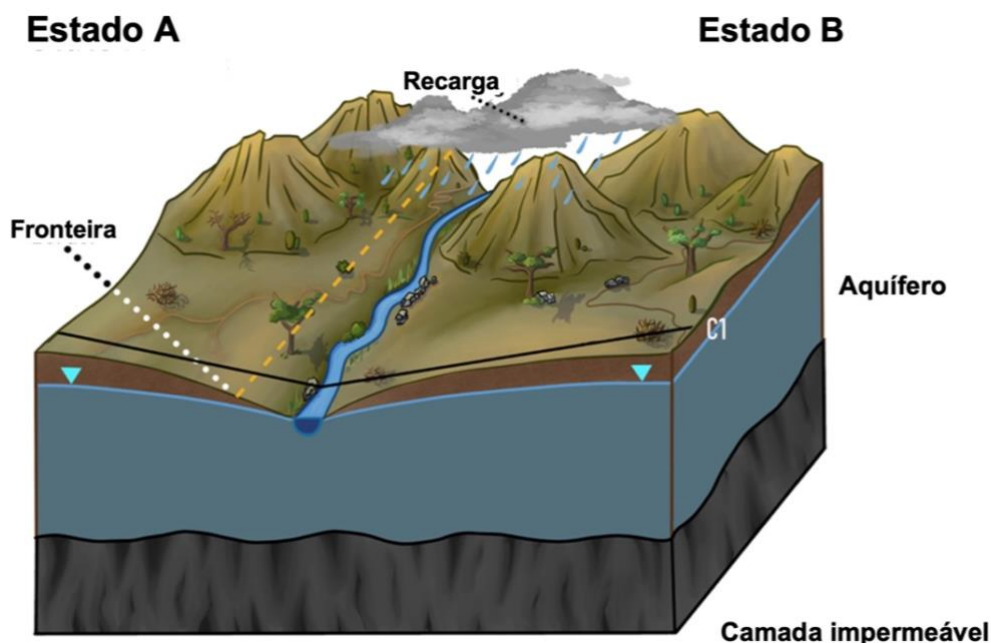


Figura 40 - Modelo C: Um aquífero livre que atravessa uma fronteira política e está hidrologicamente conectado a um rio que flui inteiramente dentro do território de uma das jurisdições. A linha preta rotulada como C1 indica a localização da seção transversal referenciada em diagramas subsequentes.

Como o nível freático na **Figura 41** está inclinado em direção ao rio, o Modelo C sugere que o rio possui uma relação de ganho com o aquífero. Isso indica que, em um contexto transfronteiriço, a água subterrânea se move naturalmente do Estado A para o Estado B e, eventualmente, em direção ao rio doméstico do Estado B (**Figura 41**).

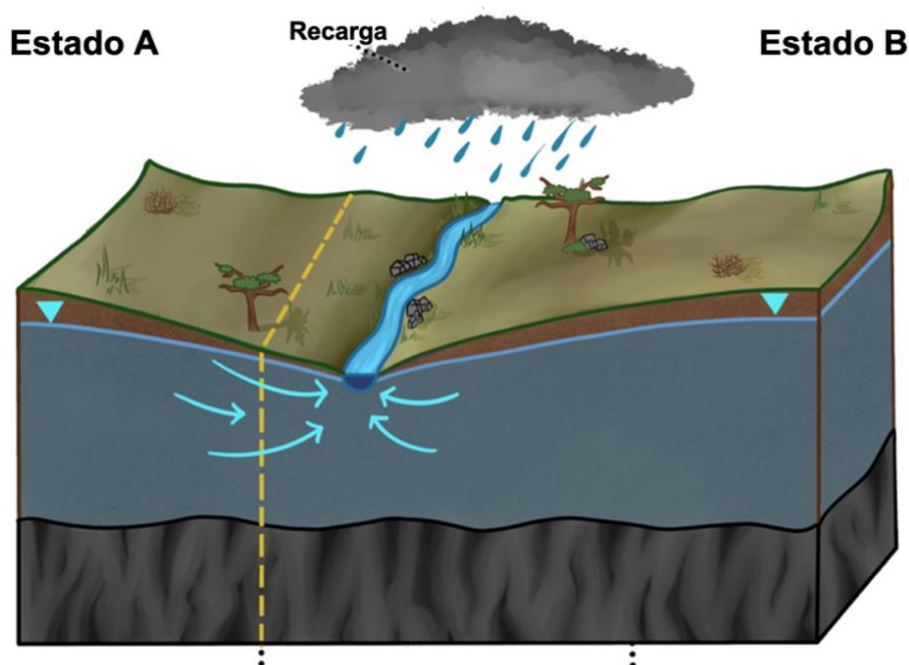


Figura 41 - Modelo C com um rio efluente e condições hidrológicas naturais (sem bombeamento). O nível freático e as direções do fluxo de água subterrânea são mostrados ao longo da seção transversal C1 na parte frontal desta imagem. O sistema de água subterrânea é recarregado pela precipitação que cai na superfície terrestre, e toda a descarga é para o rio no Estado B. A água subterrânea flui do Estado A para o Estado B.

Se o Estado A extraísse água subterrânea da seção do aquífero localizada dentro de sua fronteira, dependendo da vazão e extensão de bombeamento, o Estado A poderia reverter o fluxo de água subterrânea dentro da área de influência do poço, fazendo com que a água subterrânea fluísse do Estado B para o Estado A (**Figura 42**).

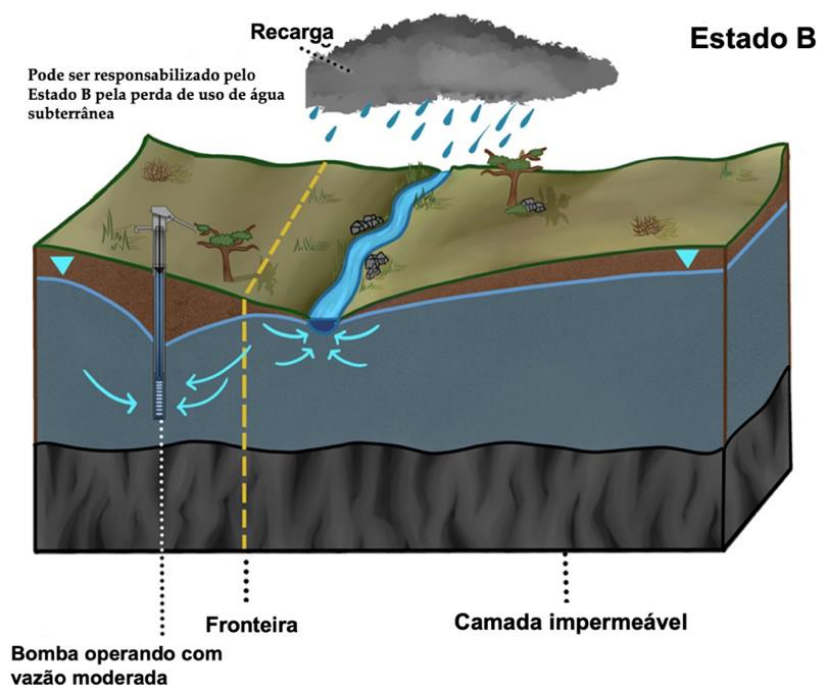


Figura 42 - O Estado A bombeia vazões moderadas da seção do aquífero localizada do seu lado da fronteira no Modelo C com um rio efluente, produzindo a configuração do nível freático e as direções do fluxo de água subterrânea mostradas ao longo da seção transversal C1 na parte frontal desta imagem. A área de influência do poço se estende através da fronteira, fazendo com que a água subterrânea flua do Estado B para o Estado A dentro da área de influência do poço. Nesta imagem, essa área de influência não alcança o rio, portanto, há apenas um impacto mínimo no fluxo do rio. O Estado B pode ter uma reclamação de responsabilidade contra o Estado A, dependendo do grau de dano que o Estado B sofre pela perda do uso da água subterrânea cujo fluxo foi revertido para o Estado A.

Em uma situação extrema, se o bombeamento for suficientemente expressivo, as atividades do Estado A poderiam até mesmo diminuir o fluxo de água no rio doméstico do Estado B, fazendo com que suas águas passem a infiltrar no aquífero e fluam em direção ao Estado A (**Figura 43**). Em tais cenários, menos água subterrânea fluiria para o segmento do aquífero no Estado B, bem como para o rio do Estado B. Dependendo do grau de dano que o Estado B sofre com essa redução do fluxo de água subterrânea, ele pode ter uma reclamação de responsabilidade contra o Estado A.

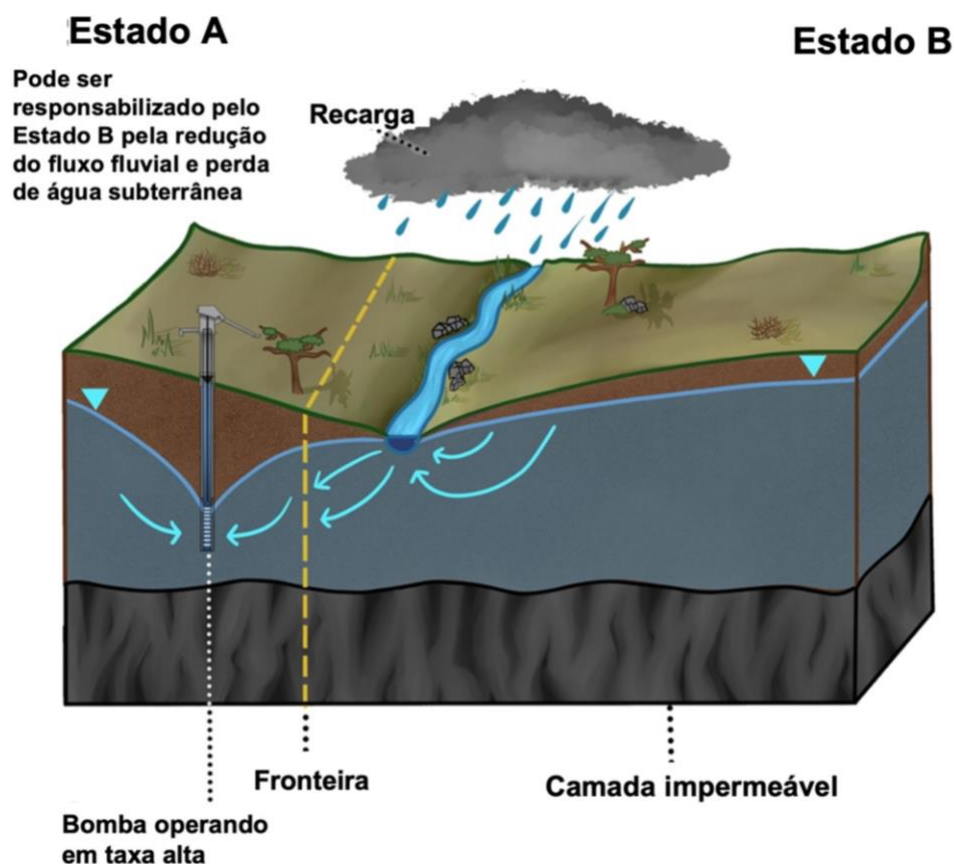


Figura 43 - O Estado A bombeia vazões elevadas da seção do aquífero localizada do seu lado da fronteira no Modelo C com um rio efluente, produzindo a configuração do nível freático e as direções do fluxo de água subterrânea mostradas ao longo da seção transversal C1 na parte frontal desta imagem. A área de influência do poço se estende através da fronteira até o rio doméstico do Estado B, fazendo com que a água subterrânea e a água do rio fluam do Estado B para o Estado A. O Estado B pode ter uma reclamação de responsabilidade contra o Estado A, dependendo do grau de dano que o Estado B sofre pela perda do uso da água subterrânea e da água do rio do seu lado da fronteira.

No entanto, se o Estado B bombeasse água subterrânea da seção do aquífero localizada dentro de sua fronteira, dependendo da taxa e da extensão do bombeamento, o fluxo local poderia ser acelerado em virtude do cone de depressão do poço, reduzindo a quantidade de água subterrânea que o Estado A é capaz de aproveitar (**Figura 44**). Neste último cenário, o Estado B poderia ser responsável por privar o Estado A de alguma água subterrânea, porém, essa privação, provavelmente, teria que ser substancial para ser acionável no âmbito do direito, uma vez que, em condições naturais, a água subterrânea já flui do Estado A para o Estado B.

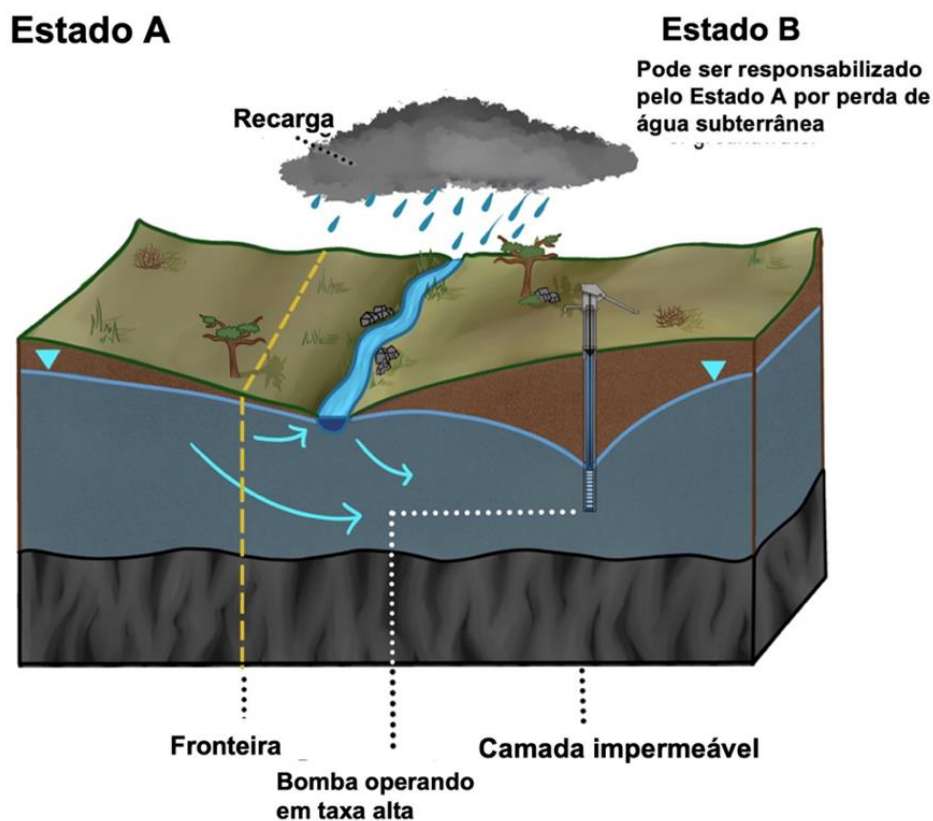


Figura 44 - O Estado B bombeia vazões elevadas da seção do aquífero localizada do seu lado da fronteira no Modelo C com um rio efluente, produzindo a configuração do nível freático e as direções do fluxo de água subterrânea mostradas ao longo da seção transversal C1 na parte frontal desta imagem. O bombeamento causa um aumento da taxa de fluxo de água subterrânea através da fronteira do Estado A para o Estado B, reduzindo assim a quantidade de água subterrânea disponível para o Estado A. A perda de água subterrânea pelo Estado A, provavelmente teria que ser substancial para ser acionável no âmbito do direito, uma vez que, em condições naturais, a água subterrânea já flui do Estado A para o Estado B.

Cenários semelhantes de responsabilidade podem ser descritos para qualquer poluente antropogênico ou natural encontrado no aquífero dentro do Estado A. Tais contaminantes naturalmente fluiriam em direção ao Estado B, inclusive para o rio do Estado B (**Figura 45**).

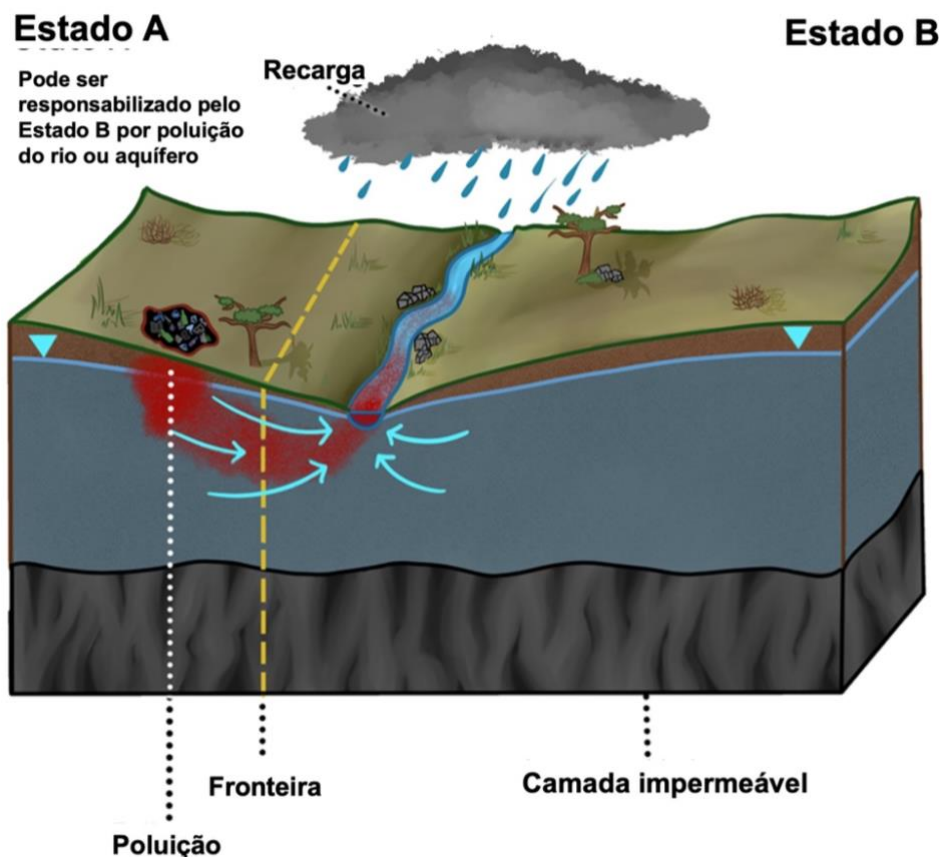


Figura 45 - Sob condições naturais (sem bombeamento) no Modelo C com um rio efuente, o Estado A contaminou o aquífero. As direções do fluxo de água subterrânea são mostradas ao longo da seção transversal C1 na parte frontal desta imagem. Os contaminantes da fonte de poluição fluem em direção ao Estado B como resultado do fluxo natural da água subterrânea, inclusive para o rio do Estado B. O Estado A seria responsável pela reparação dos danos significativos que a poluição causar ao aquífero e ao rio no Estado B.

Como sugerido em uma seção anterior, o Estado A não teria responsabilidade perante o Estado B por contaminantes de ocorrência natural que migram sob condições naturais para o Estado B. No entanto, o Estado A seria responsável por contaminantes não naturais que possam ser introduzidos no aquífero dentro de sua jurisdição, podendo ter que responder pelos danos significativos que resultem para o Estado B. Além disso, pode ser responsabilizado por danos resultantes da aceleração ou amplificação do fluxo de contaminantes para o Estado B. Em contraste, o Estado B pode não ser capaz de reivindicar responsabilidade por danos sofridos se for considerado responsável por acelerar ou amplificar esse fluxo de poluição transfronteiriço, por exemplo, instalando um poço em seu lado da fronteira que atraia a poluição do Estado A em direção ao Estado B.

Explicações análogas se aplicariam se o modelo retratasse o rio perdendo água, ou seja, se a água fluísse naturalmente do rio para o aquífero, embora isso gere um conjunto diferente de responsabilidades e obrigações. Nessas circunstâncias, as águas subterrâneas fluiriam naturalmente do Estado B, cruzando a fronteira em direção ao Estado A (**Figura 46**). Como resultado, se o Estado A instalasse um poço próximo à sua fronteira com o

Estado B, ele poderia aumentar e acelerar o fluxo e o volume de águas subterrâneas que cruzam a fronteira dentro da área de influência do poço (Figura 47).

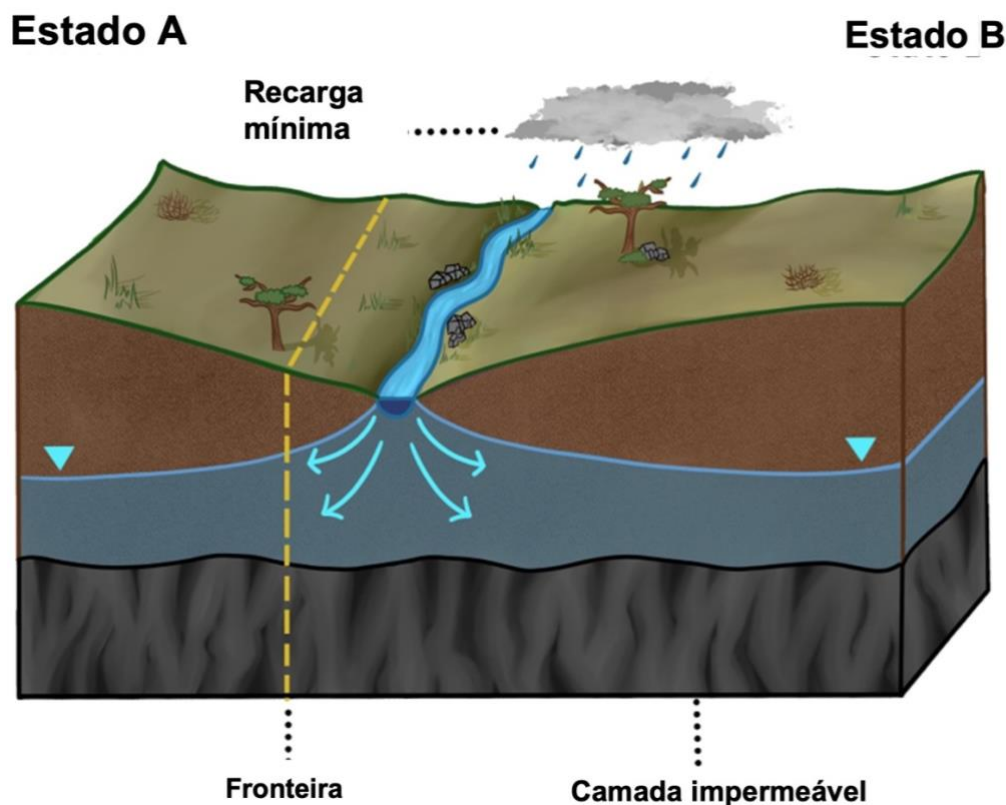


Figura 46 - Modelo C com um rio influente e condições hidrológicas naturais (sem bombeamento), mostrando o nível freático e as direções de fluxo da água subterrânea ao longo da seção transversal C1 na parte frontal desta imagem. As águas subterrâneas fluem naturalmente do Estado B para o Estado A.

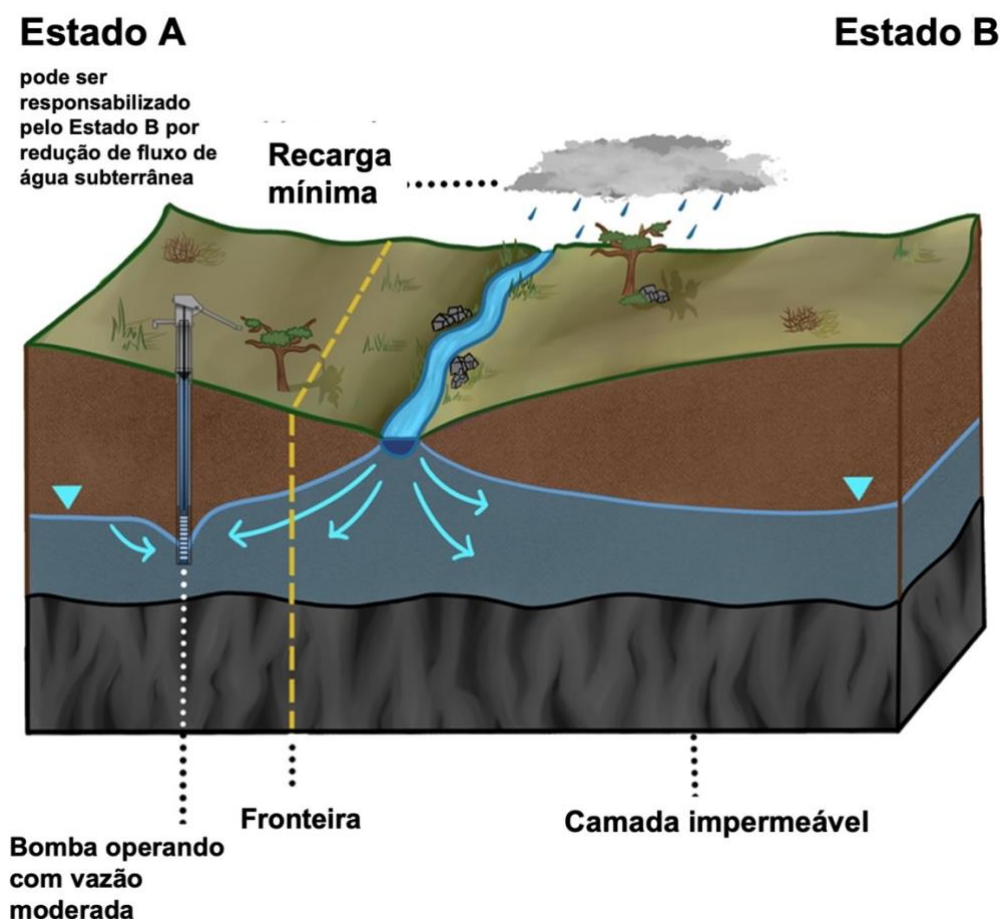


Figura 47 - O Estado A bombeia água subterrânea a uma vazão moderada da seção do aquífero localizada em seu lado da fronteira no Modelo C, com um rio influente. Dentro da área de influência do poço, o bombeamento acelera o fluxo de água subterrânea do Estado B para o Estado A, conforme mostrado ao longo da seção transversal C1 na parte frontal desta imagem. Nessas condições, o Estado B pode ter uma reivindicação de responsabilidade contra o Estado A, dependendo do grau de prejuízo que o Estado B sofra pela perda do uso da água subterrânea em seu território.

O bombeamento também poderia aumentar e acelerar o fluxo transfronteiriço de qualquer contaminação encontrada no segmento do aquífero do Estado B. Além disso, se o bombeamento do Estado A for suficientemente elevado, poderia eventualmente impactar o fluxo de água no rio doméstico do Estado B, intensificando o estado natural de perda do rio — fazendo com que mais água do rio infiltrasse no aquífero e fluísse em direção ao Estado A (Figura 48).

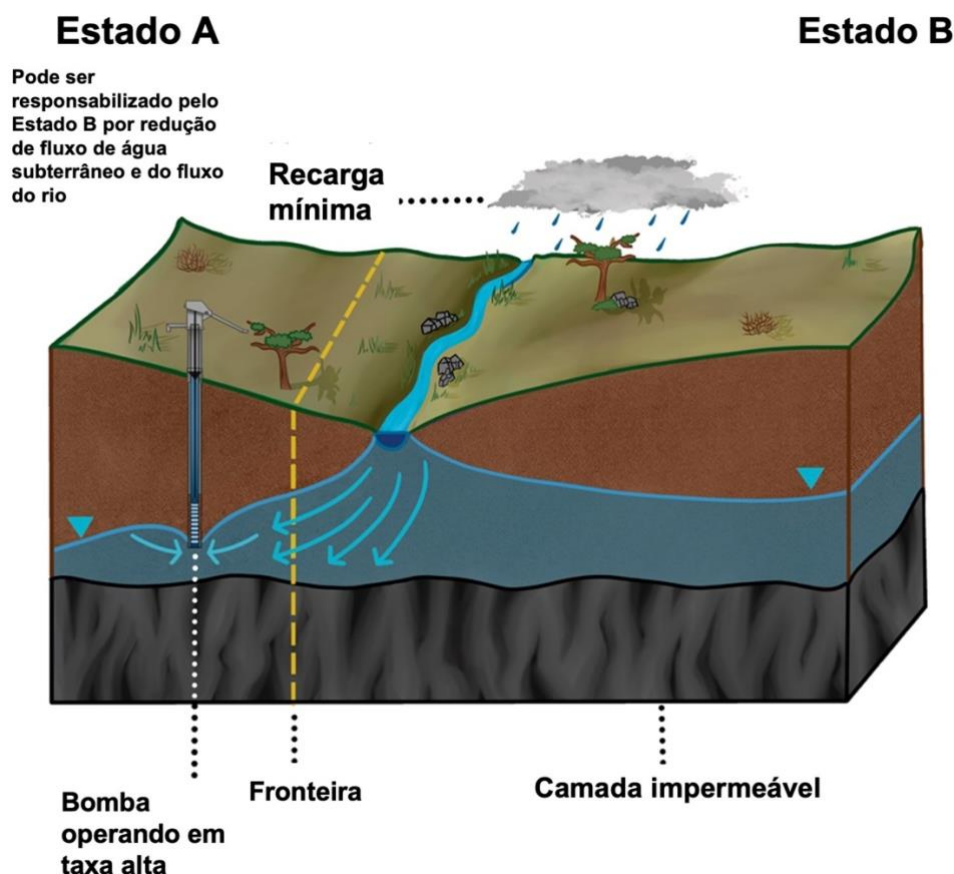


Figura 48 - O Estado A bombeia altas vazões de água subterrânea da seção do aquífero localizada em seu lado da fronteira no Modelo C, com um rio influente. Dentro da área de influência do poço, o bombeamento faz com que a divisória das águas subterrâneas sob o rio se afaste ligeiramente do poço de bombeamento, acelera o fluxo de águas subterrâneas do Estado B para o Estado A e aumenta a proporção de água do rio que infiltra no aquífero e flui através da fronteira para o Estado A, conforme mostrado ao longo da seção transversal C1 na parte frontal desta imagem. Nessas condições, o Estado B pode ter uma reivindicação de responsabilidade contra o Estado A, dependendo do grau de prejuízo que o Estado B sofra pela perda do uso de águas subterrâneas e do fluxo do rio em seu território.

Por outro lado, se o Estado B instalasse um poço próximo à sua fronteira com o Estado A, ele poderia reduzir o fluxo natural de águas subterrâneas através da fronteira e até mesmo reverter esse fluxo natural dentro da área de influência do poço (**Figura 49**). Da mesma forma, poderia fazer com que quaisquer contaminantes encontrados no segmento do aquífero sob o Estado A fluíssem em direção ao poço no Estado B.

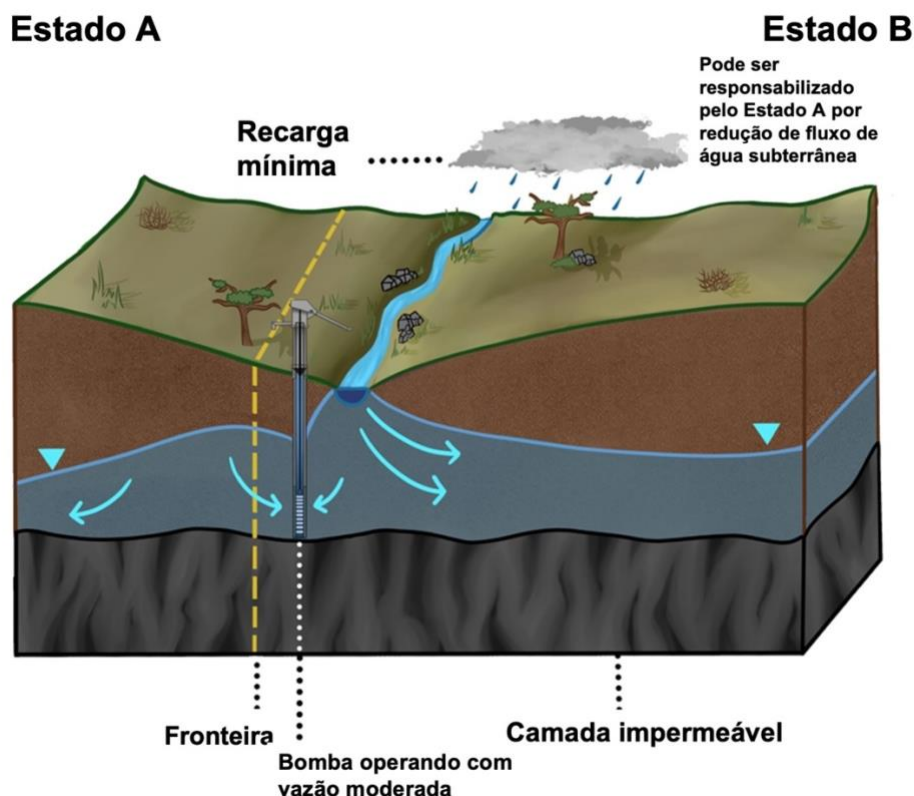


Figura 49 - O Estado B bombeia água subterrânea a uma taxa moderada da seção do aquífero localizada em seu lado da fronteira no Modelo C, com um rio influente. O bombeamento faz com que as águas subterrâneas fluam do Estado A para o Estado B, o que representa uma inversão do fluxo em condições naturais (**Figura 46**), conforme mostrado na seção transversal C1 na parte frontal desta imagem. Como resultado, o Estado B pode ser responsável perante o Estado A, dependendo do grau de prejuízo que o Estado A sofra pela redução do fluxo de águas subterrâneas em seu território.

Um exemplo de aquífero livre atravessando uma fronteira internacional e sendo cortado por um rio doméstico pode ser encontrado ao longo da fronteira entre o México e os EUA. O Aquífero da Bacia de Mimbres é um aquífero livre que atravessa o noroeste de Chihuahua, no México, e o sudoeste do Novo México, nos EUA (**Figura 50**). O aquífero está hidrologicamente ligado ao Rio Mimbres, que flui inteiramente dentro dos EUA e tem uma relação de perda com o aquífero (Hebard, 2000).



Figura 50 - Mapa da extensão geográfica do aquífero transfronteiriço Mimbres. O aquífero livre está hidrologicamente conectado ao Rio Mimbres, que flui inteiramente dentro dos EUA e tem uma relação de perda com o aquífero (reproduzido de Rodriguez, 2022d).

4.4 Modelo D: Aquífero Livre Doméstico Hidrologicamente Conectado a um Rio Transfronteiriço

Em certa medida, o Modelo D (**Figura 51**) é o inverso do Modelo C. Aqui, o modelo retrata um rio que atravessa uma fronteira política e que está hidrologicamente conectado a um aquífero livre intrajurisdicional ou doméstico — por exemplo, o aquífero está localizado inteiramente dentro da jurisdição de um Estado. O rio no Estado A, neste exemplo, flui sobre rocha ou outro material impermeável ou flui em um ângulo tão íngreme que a possibilidade de formação de um aquífero é minimizada. Portanto, a característica principal deste modelo é que o caráter transfronteiriço deste exemplo de rio-aquífero se encontra exclusivamente no rio. No entanto, isso não significa que o aquífero neste modelo seja insignificante. Na verdade, este modelo pode ser subdividido em dois submodelos."



Figura 51 - Modelo D: Um rio que atravessa uma fronteira internacional e está hidrologicamente conectado a um aquífero livre localizado completamente dentro do território do Estado a jusante do curso d'água.

Assim, neste modelo, o Estado A teria a responsabilidade e a oportunidade exclusiva de garantir que a água fluindo pelo rio em direção ao Estado B, incluindo qualquer diminuição na quantidade ou qualidade desse fluxo a jusante, seja preservada. Portanto, se o Estado A desviasse esse fluxo dentro de seu território (**Figura 52**), na ausência de um acordo com o Estado B, poderia ser responsabilizado perante o Estado B se o desvio reduzisse significativamente o fluxo a jusante para o Estado B.

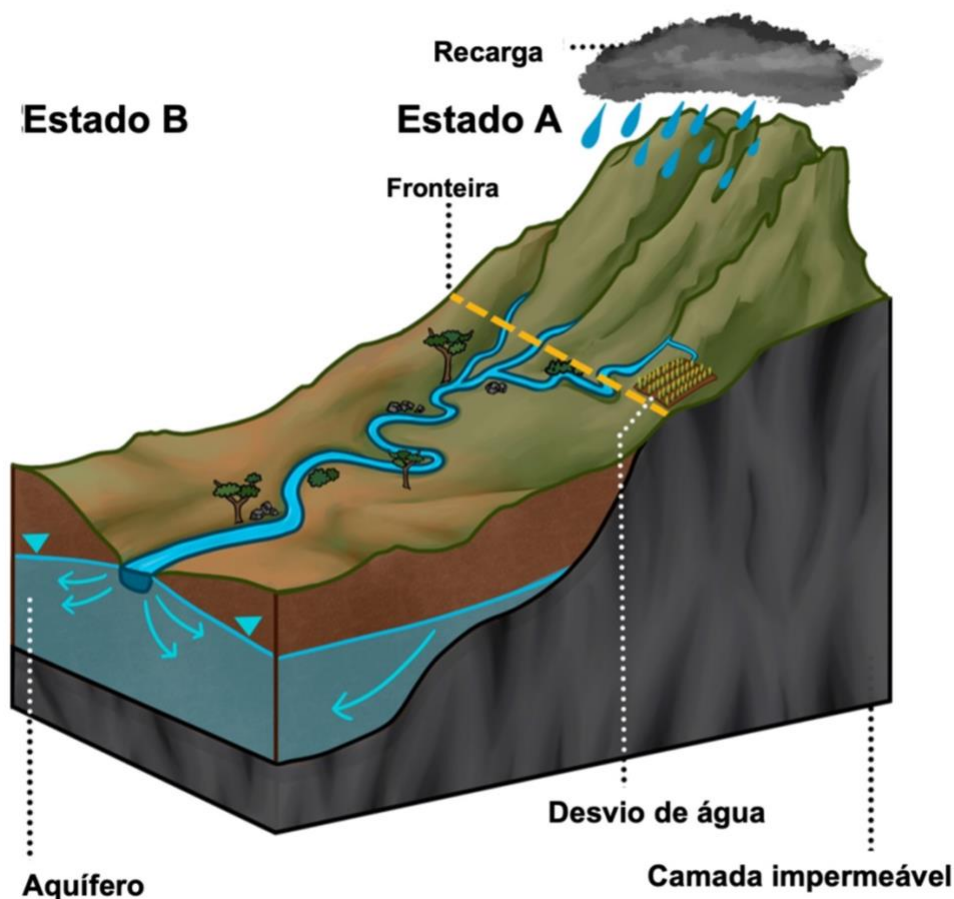


Figura 52 - Diagrama mostrando um rio transfronteiriço hidrologicamente conectado a um aquífero em uma relação de perda com o rio, que é inteiramente doméstico ao Estado B, e onde o Estado A está desviando água do rio para uso dentro de seu território.

Se o curso de água no Estado B for um rio influente (**Figura 52**), o Estado A teria a oportunidade e a responsabilidade adicionais (embora não esteja claro se o Estado A incorreria em dever de reparar danos caso falhasse) de proteger a quantidade e a qualidade da água no aquífero hidrologicamente conectado sob o Estado B. Isso ocorre porque qualquer atividade no Estado A que impacte negativamente o volume ou a composição química do rio poderia afetar o aquífero doméstico do Estado B. Uma exceção a esse cenário seria se a diminuição da quantidade ou da qualidade do fluxo a jusante fosse resultado exclusivo de causas naturais, como mudanças climáticas ou impurezas nativas do leito do rio, caso em que o Estado A não seria responsável pelas consequências a jusante.

Um exemplo desse modelo pode ser encontrado na Bacia Mesopotâmica dos rios Tigre e Eufrates (**Figura 53**). Os dois rios têm suas nascentes no maciço cristalino do sudeste da Anatólia, na Turquia, e depois cruzam fronteiras internacionais. O Tigre flui para sudeste, entrando no Iraque, enquanto o Eufrates flui primeiro para o sul através da Síria e, em seguida, para sudeste em direção ao Iraque. No Iraque, os dois rios fluem sobre a grande bacia sedimentar da Mesopotâmia, formando um aquífero livre, que em alguns pontos tem até 300 metros (984 pés) de espessura (FAO, 2008).

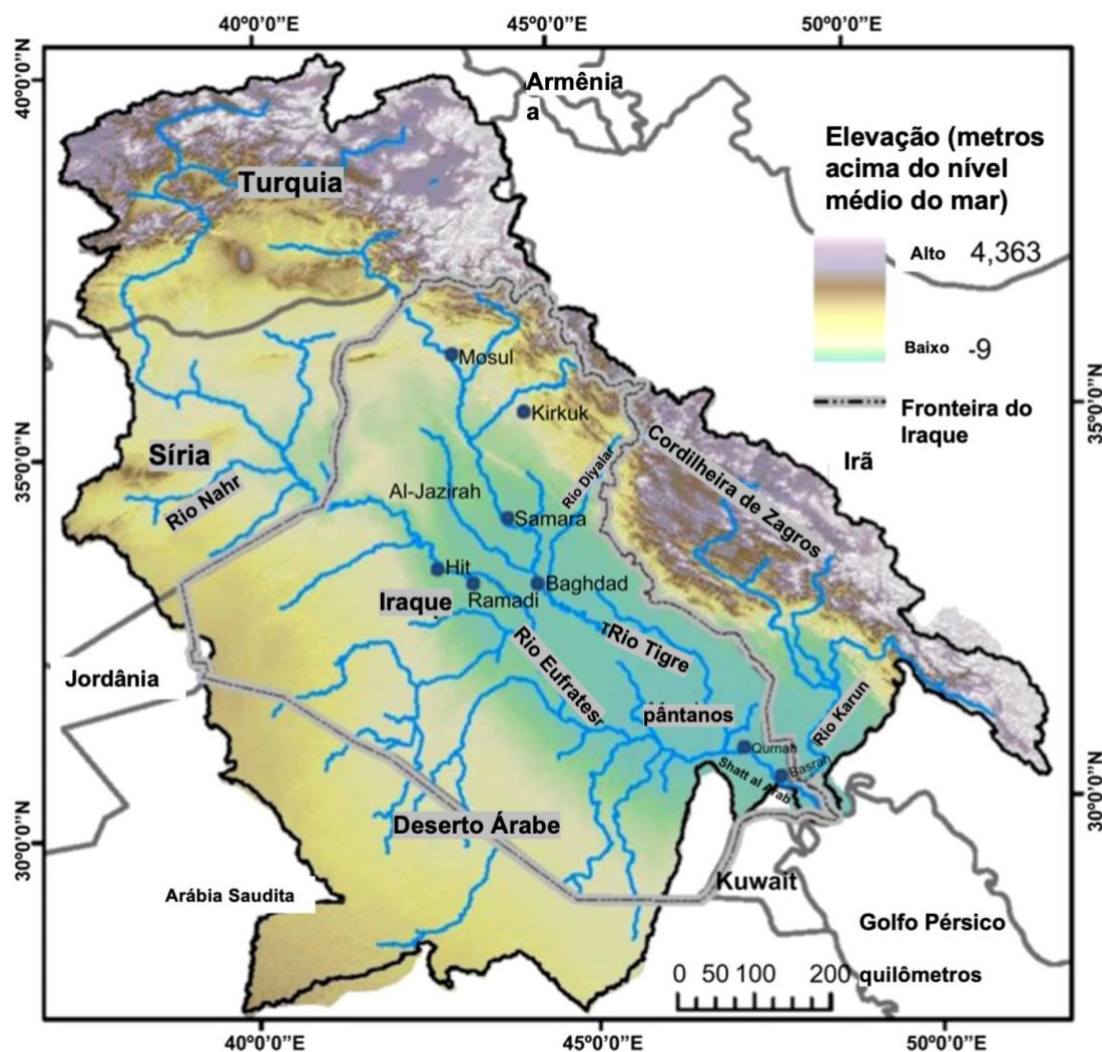


Figura 53 - Mapa da área de captação dos rios Tigre e Eufrates (reproduzido de Flint et al., 2011). Os dois rios atravessam as fronteiras da Turquia e da Síria, entrando no Iraque, onde fluem sobre uma grande bacia sedimentar.

Uma variação desse modelo compreende a situação inversa daquela ilustrada no Modelo D, em que o aquífero doméstico está na jurisdição a montante, no Estado A (**Figura 54**).

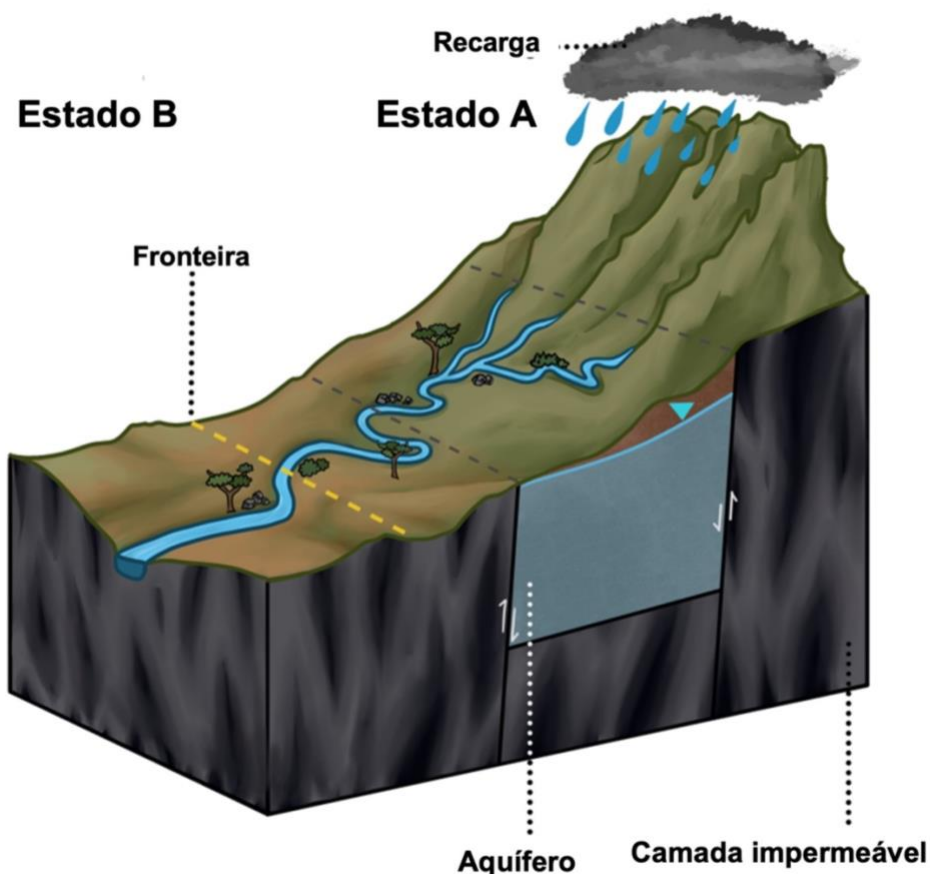


Figura 54 - Diagrama mostrando um rio transfronteiriço hidrologicamente conectado a um aquífero localizado inteiramente dentro do estado ribeirinho a montante do rio. Linhas cinzas pontilhadas indicam a extensão subterrânea do aquífero.

Como no exemplo anterior, as implicações transfronteiriças para o Estado B estariam inteiramente nas mãos do Estado A e dependeriam da quantidade e qualidade da água fluindo no rio a jusante em direção ao Estado B. No entanto, o rio também seria influenciado pela relação entre o rio e o aquífero no Estado A, impondo a responsabilidade adicional ao Estado A de gerenciar seu aquífero doméstico de forma que não impacte negativamente o fluxo de água no rio. Se o rio ganhar água no Estado A, qualquer poluente encontrado no aquífero doméstico do Estado A poderia migrar para o rio e fluir em direção ao Estado B (Figura 55).

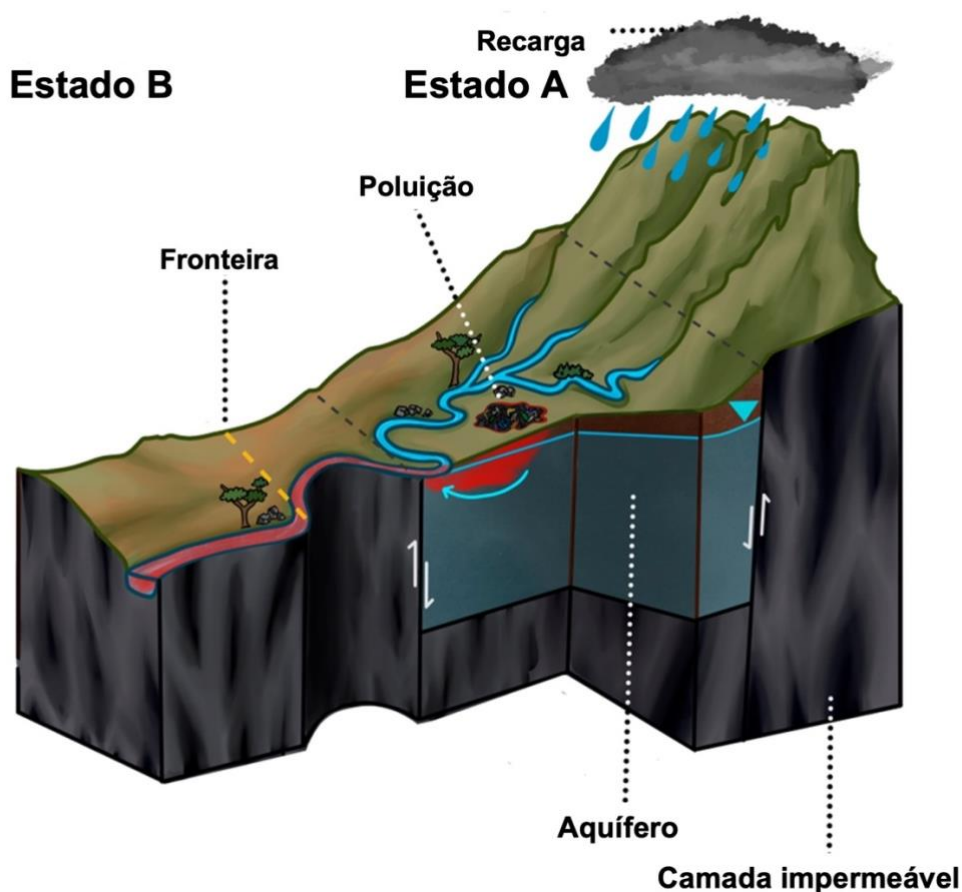


Figura 55 - Diagrama mostrando um rio transfronteiriço em uma relação de ganho com um aquífero localizado inteiramente dentro do estado ribeirinho a montante do rio (Estado A). Qualquer poluição ocorrida no aquífero doméstico do Estado A poderia migrar para o rio e fluir em direção ao Estado B.

Se o rio estivesse perdendo água, a contaminação encontrada no aquífero doméstico do Estado A permaneceria no Estado A (**Figura 56**). Da mesma forma, se o rio estivesse perdendo água no Estado A e poluição fosse introduzida no rio a uma distância significativa da fronteira política, essa poluição seria — pelo menos parcialmente — removida do rio antes de chegar ao Estado B, como resultado da infiltração do rio no aquífero do Estado A (**Figura 57**). No entanto, independentemente de o rio estar ganhando ou perdendo, qualquer bombeamento nas proximidades do rio, onde o cone de rebaixamento alcança o rio, poderia diminuir o volume de água fluindo a jusante em direção ao Estado B. Não obstante, qualquer atividade no Estado A relacionada ao aquífero ou ao rio que tenha um impacto transfronteiriço substancial sobre o Estado B, através do rio, poderia ser considerada passível de ação judicial e resultar em responsabilidade para o Estado A.

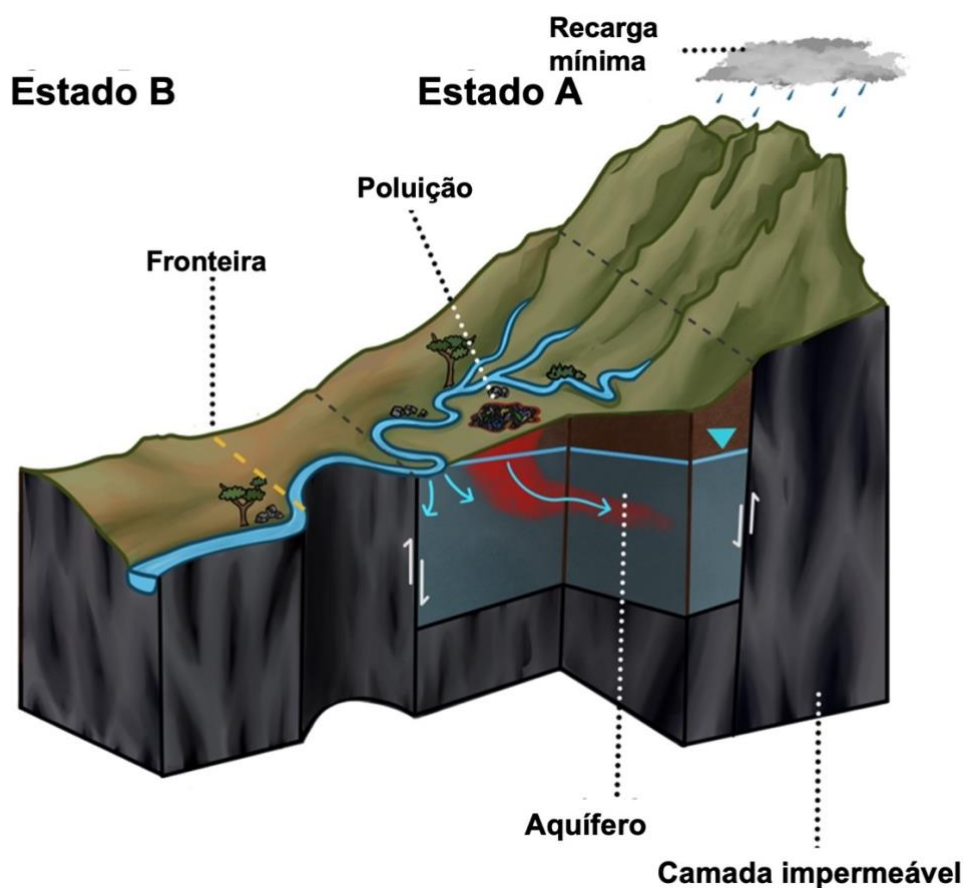


Figura 56 - Diagrama mostrando um rio transfronteiriço em uma relação de perda com um aquífero localizado inteiramente dentro do estado ribeirinho a montante do rio (Estado A). Qualquer poluição ocorrida no aquífero doméstico do Estado A permaneceria dentro do Estado A.



Figura 57 - Diagrama mostrando um rio transfronteiriço em uma relação de perda para um aquífero localizado inteiramente dentro do estado ribeirinho superior do rio (Estado A). Qualquer poluição introduzida no rio no Estado A seria—pelo menos parcialmente—removida do rio antes de chegar ao Estado B devido à infiltração do rio no aquífero do Estado A.

Vale destacar que essas duas versões do Modelo D são intencionalmente simplificadas para identificar e explorar mais facilmente as implicações transfronteiriças. No mundo natural, é completamente possível que um rio transfronteiriço esteja hidrologicamente conectado a aquíferos domésticos independentes localizados tanto no Estado A quanto no Estado B, bem como a um aquífero transfronteiriço adicional. Também é possível que o aquífero localizado no Estado a montante esteja, na verdade, conectado hidraulicamente a um afluente do rio que atravessa a fronteira política. O ponto chave aqui é que, dependendo da relação hidrológica entre o rio e o aquífero doméstico no Estado A, bem como das atividades relacionadas ao rio e ao aquífero no Estado A, o Estado A seria responsável e potencialmente teria que reparar os danos causados por eventuais consequências transfronteiriças para o Estado B a jusante.

Um exemplo desse modelo, no qual o aquífero está localizado inteiramente no estado ribeirinho superior e está conectado a um rio transfronteiriço em uma relação majoritariamente de perda, é o aquífero aluvial que está hidraulicamente conectado ao Rio Gila, no sul do Arizona, EUA. O Rio Gila é um afluente do Rio Colorado, pouco antes de o Rio Colorado atravessar a fronteira dos EUA para o México. Aquíferos aluviais domésticos

fluem ao longo de vários segmentos do Rio Gila, no Arizona, na direção geral do rio e, na maioria das vezes, são recarregados por precipitação e pelo próprio rio (Anderson, 1995). Efetivamente, esses aquíferos estão em um estado ribeirinho superior (EUA) e estão conectados a um afluente de um corpo d'água superficial transfronteiriço (o Rio Colorado) em uma relação predominantemente de perda, que flui para um estado ribeirinho inferior (México). Para avaliar sua compreensão sobre este tópico, o [Exercício 1](#)  oferece uma oportunidade de trabalhar com esses conceitos.

4.5 Modelo E: Aquífero Transfronteiriço Confinado com Zona de Recarga em Apenas uma Jurisdição Ribeirinha

Este quinto modelo, Modelo E (**Figura 58**), apresenta um aquífero confinado que atravessa uma fronteira política, com uma zona de recarga em uma porção não confinada do aquífero, que está localizada inteiramente em um dos estados vizinhos. Nesse modelo, embora não haja conexão com um corpo de água superficial, o aquífero está conectado ao ciclo hidrológico por meio da zona de recarga. Aqui, o modelo descreve o fluxo de águas subterrâneas na direção geral do Estado A em direção ao Estado B. Isso significa que o Estado A teria uma responsabilidade distinta em garantir a quantidade e a qualidade da água fluindo para dentro e através do aquífero, à medida que ele flui sob o Estado B. Embora todas as implicações transfronteiriças sejam funções do fluxo de águas subterrâneas através do aquífero, um aspecto crucial para fins de avaliação de responsabilidade e reparação de danos é a localização da fronteira jurisdicional em relação ao aquífero, seus segmentos confinados e saturados, e a zona de recarga. Um possível cenário para a relação entre jurisdição e aquífero é o exemplo especificamente ilustrado no modelo, no qual a porção confinada do aquífero atravessa a fronteira política, e a zona de recarga está localizada exclusivamente em uma das jurisdições ribeirinhas do aquífero —o Estado A (**Figura 58**).

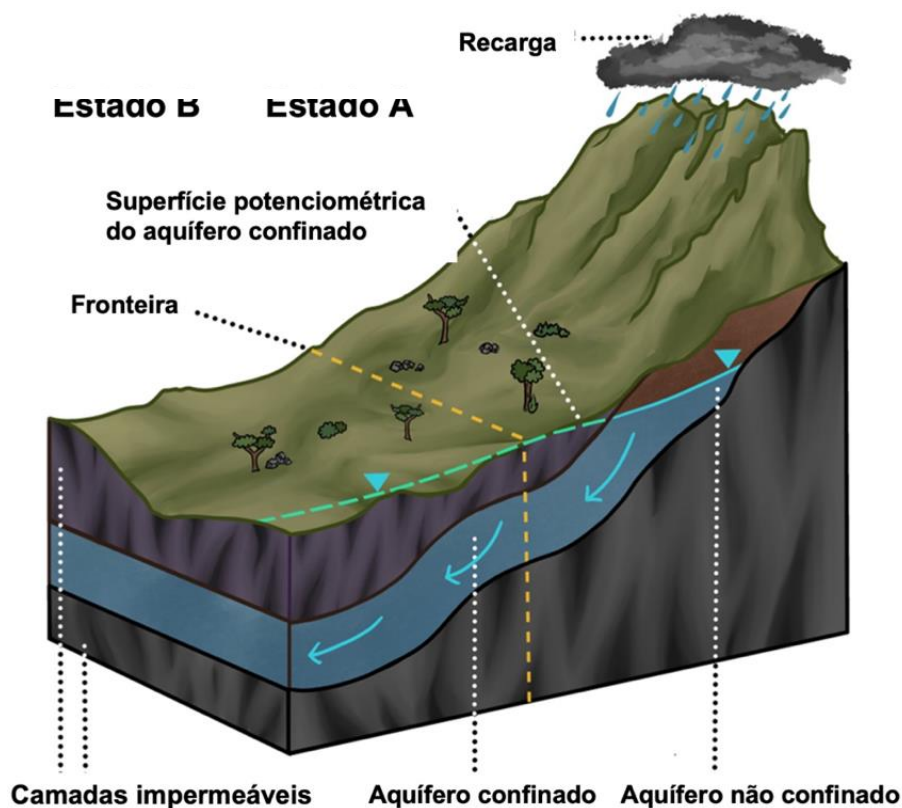


Figura 58 - Modelo E: Um aquífero confinado atravessando uma fronteira política com uma zona de recarga em apenas uma das jurisdições ribeirinhas. O modelo mostra o nível freático na porção não confinada do aquífero, a superfície potenciométrica na seção confinada do aquífero e as direções do fluxo de água subterrânea em condições naturais (sem bombeamento).

Neste cenário, qualquer bombeamento excessivo, em uma ou ambas as jurisdições, terá o potencial de resultar em impacto além da fronteira. Por exemplo, se o Estado A começasse a retirar vigorosamente água subterrânea ao longo da fronteira em excesso à recarga natural, seu cone de depressão — ou, mais precisamente, a redução da carga hidráulica ao redor do poço bombeado — poderia se estender até o Estado B (**Figura 59**).



Figura 59 - O Estado A bombeia vazões elevadas do aquífero em seu lado da fronteira no Modelo E, produzindo mudanças na superfície potenciométrica da zona confinada e nas direções de fluxo da água subterrânea. Nas proximidades do poço, esse bombeamento pode reverter a direção do fluxo natural da água subterrânea através da fronteira, fazendo com que a água flua do Estado B para o Estado A dentro da área de influência do poço. Dependendo do grau de dano que o Estado B sofrer com a redução do fluxo de água subterrânea em seu território, o Estado B pode ter uma reivindicação de responsabilidade contra o Estado A, demandando reparação.

A possibilidade de a redução da carga hidráulica impactar substancialmente o Estado B dependerá de diversos fatores., incluindo o diferencial de carga, parâmetros poroelásticos da formação confinada, coeficiente de armazenamento específico, escalas de tempo associadas, entre outros. Embora tal análise possa ser complexa—e embora o impacto possa levar semanas, meses ou anos para ser sentido além da fronteira—existe o potencial de impacto transfronteiriço, o que poderia incluir uma redução da carga hidráulica e possivelmente o fluxo de água subterrânea do Estado A para o Estado B dentro da área de influência ao redor do poço do Estado B (**Figura 59**).

Além disso, contaminantes naturais ou artificiais encontrados na zona de recarga do aquífero dentro do Estado B poderiam ser transportados para o Estado A devido ao fluxo natural—isto é, do Estado B para o Estado A (**Figura 60**). Ademais, o transporte advectivo transfronteiriço de poluentes causado pela extração de água em um dos estados do aquífero ocorreria quando a carga hidráulica na área de influência do estado que realiza a extração for menor do que a encontrada no estado que não realiza a extração."

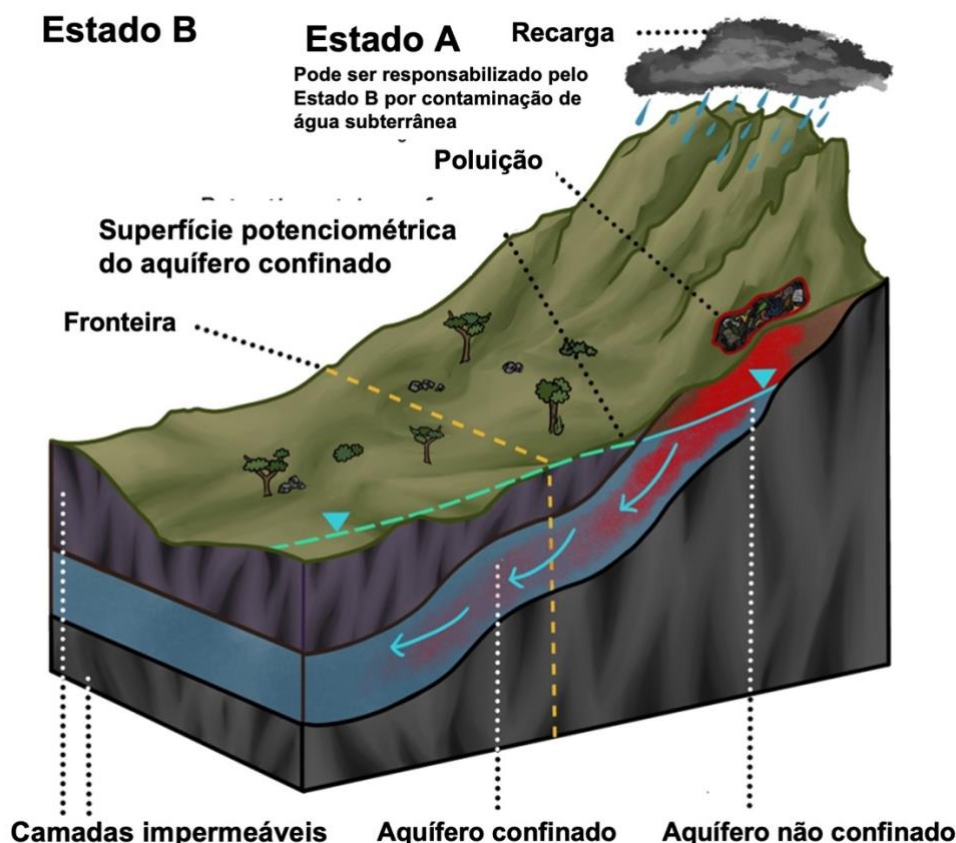


Figura 60 - A poluição na zona de recarga do Estado B causa contaminação na porção não confinada do aquífero. Em condições naturais (sem bombeamento), a contaminação migra para a seção confinada do aquífero e atravessa a fronteira para o Estado B. Nessas condições, o Estado B pode ter uma reivindicação de responsabilidade contra o Estado A por poluir sua seção do aquífero.

Além disso, o cenário descrito na **Figura 60** apresenta outra possibilidade de responsabilidade. Como a zona de recarga está localizada exclusivamente dentro do território do Estado A, o Estado A poderia tomar medidas que reduzam a recarga natural do aquífero, como a captura ou desvio do escoamento superficial nas proximidades da zona de recarga para uso dentro do próprio Estado A (**Figura 61**). Tais ações poderiam privar o Estado B de parte do fluxo natural de águas subterrâneas dentro do aquífero. O Estado A também poderia realizar atividades que poluíssem a superfície e as águas na zona de recarga, como por exemplo, escoamento agrícola ou descarte de resíduos municipais e industriais não tratados, permitindo que esses poluentes infiltrassem no aquífero e migrassem para o Estado B (**Figura 60**). Essas implicações colocam uma responsabilidade adicional sobre o Estado A para proteger o aquífero, garantindo suas características e a sustentabilidade da área de recarga. Como a porção confinada e saturada do aquífero no Modelo E atravessa a fronteira entre as duas jurisdições nesse cenário, é razoável supor que o Estado A de fato adotaria tais medidas de proteção, já que ele também pode se beneficiar do aquífero e de uma zona de recarga que funcione adequadamente."

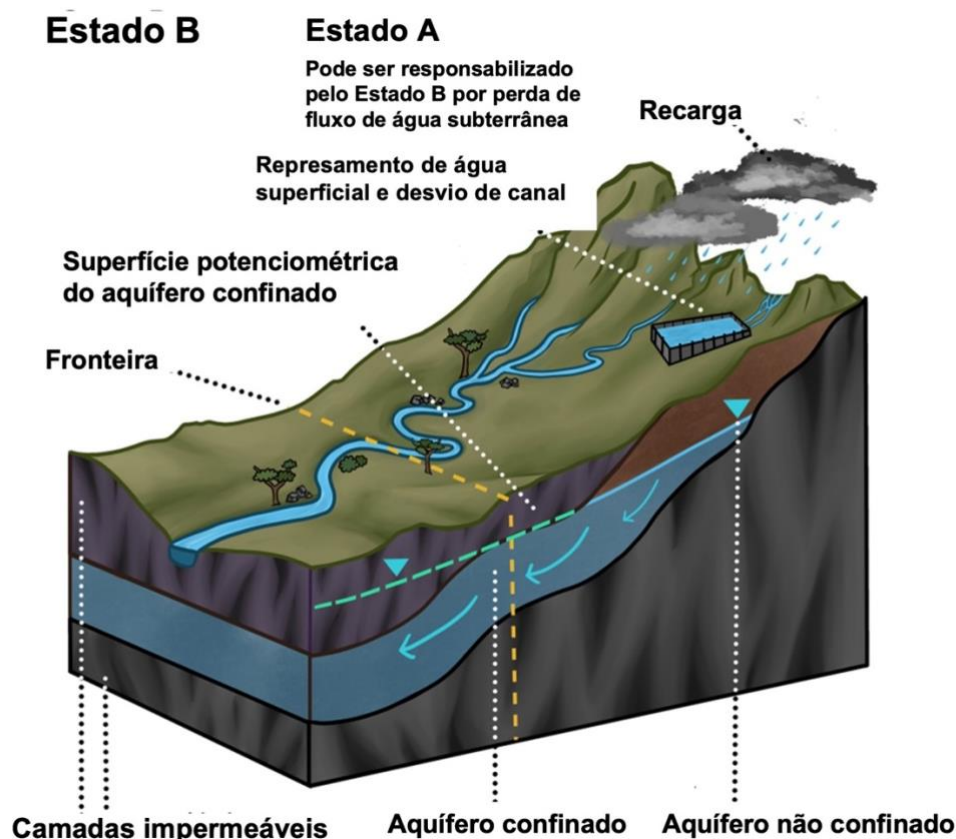


Figura 61 - O Estado A desvia água da área de recarga para uma barragem de superfície. Isso causa uma redução no volume de água que infiltra na zona de recarga e atinge o aquífero, abaixando o nível freático no Estado A e resultando em uma consequente redução do fluxo através do aquífero confinado e na diminuição de sua superfície potenciométrica. Dependendo do grau de prejuízo que o Estado B sofrer em decorrência da redução do fluxo de águas subterrâneas em seu território e da diminuição da pressão em sua porção do aquífero confinado, o Estado B pode ter uma reivindicação de responsabilidade contra o Estado A.

Isso, entretanto, sugere a possibilidade de um cenário levemente modificado em que danos podem ocorrer, mas a atribuição de responsabilidade no âmbito do direito internacional seria mais difícil. Considere o último cenário apresentado acima, mas onde o aquífero é confinado e a maior parte de sua porção saturada e não confinada está localizada inteiramente em uma jurisdição—por exemplo, no Estado B—e onde a zona de recarga ou atravessa a fronteira política ou se encontra totalmente em outra jurisdição—por exemplo, no Estado A (**Figura 62**). Nesse caso, as implicações transfronteiriças dependeriam exclusivamente de se, e até que ponto a jurisdição onde parte ou toda a zona de recarga está localizada adota medidas para proteger o aquífero."

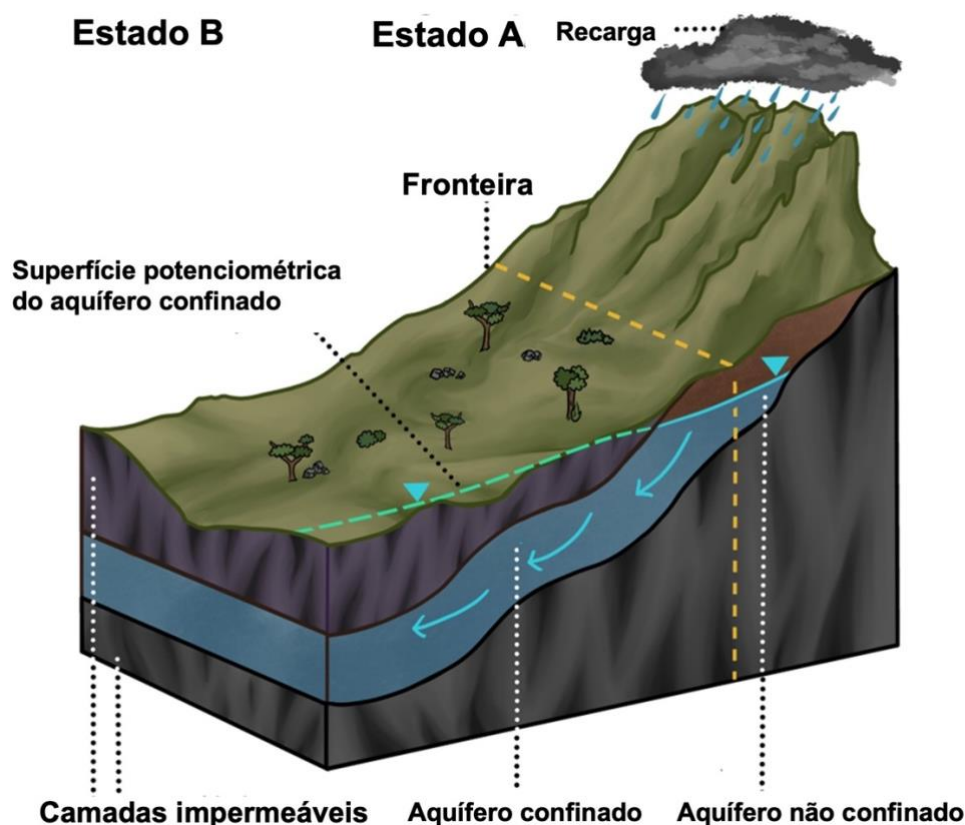


Figura 62 - Modelo E: Com uma fronteira redesenhada, a porção confinada do aquífero passa a estar completamente situada no Estado B. O Estado A tem relativamente pouco acesso à porção saturada do aquífero e, portanto, possui pouco incentivo para proteger o aquífero no Estado B; o Estado B depende do Estado A para que este pratique uma boa gestão da zona de recarga, incluindo a manutenção do volume e da qualidade da água de recarga. Essa situação cria um dilema que ainda não foi abordado nem pelo direito internacional das águas, nem pelas legislações hídricas nacionais das unidades subnacionais sobre um aquífero comum.

O desafio aqui é que o Estado A—onde grande parte da zona de recarga está localizada—tem pouco incentivo, além da boa vizinhança, para implementar medidas de proteção. Como essa jurisdição cobre apenas uma pequena seção da camada saturada da formação, sua capacidade de obter benefícios substanciais da água do aquífero é limitada, especialmente em comparação com o Estado B. Isso cria um dilema que ainda não foi abordado nem pelo direito internacional das águas, nem pelas legislações hídricas nacionais de unidades subnacionais. Atualmente, há uma lacuna no direito das águas, que deixa o Estado, onde se encontra o armazenamento, completamente dependente da boa vontade de seu vizinho menos favorecido. Embora esse Estado possa decidir compartilhar seus recursos, não há nada no direito internacional ou doméstico que exija tal conduta. Além disso, não está claro se o Estado com a zona de recarga seria responsabilizado por não proteger de forma ativa os interesses de seu vizinho dependente do aquífero.

Contudo, segundo o direito internacional geral—em comparação com o direito internacional das águas—os princípios de boa vizinhança e relacionados ainda se aplicariam a este cenário, exigindo que o Estado com a zona de recarga garanta que as atividades em seu território não causem danos ao Estado com o armazenamento do

aquífero. Ainda assim, o Estado com o armazenamento do aquífero teria o direito de explorar os recursos dentro de seu próprio território para atender às suas necessidades sociais e de desenvolvimento econômico. O resultado não é diferente de outras situações em que Estados vizinhos e unidades subnacionais precisam avaliar suas atividades em relação ao possível dano transfronteiriço. Portanto, a implementação de medidas específicas de proteção, assim como a definição de responsabilidade e compensação, tende a ser melhor resolvida por meio de negociações, em vez de recorrer a mecanismos judiciais ou outros processos formais.

Exemplos desse modelo incluem:

- a série de aquíferos profundos e confinados na Bacia do Rio Syr Darya, no Cazaquistão, que não estão conectados ao Rio Syr Darya, mas são recarregados nas altas montanhas do Turcomenistão e do Tajiquistão (Sydykov & Veselov, 1993);
- o Aquífero da Montanha (**Figura 63**), localizado entre Israel e o Território Palestino da Cisjordânia, onde as formações calcárias do Cretáceo Superior (Cenomaniano-Turoniano) estão expostas e são recarregadas nas regiões altas das Montanhas da Judeia e Samaria, inclinando-se para o oeste através da Linha de Demarcação do Armistício de 1949—que separa Israel, propriamente dito da Cisjordânia—em direção ao Mar Mediterrâneo, sob uma camada confinante (Eckstein & Eckstein, 2003); e
- o Aquífero Guarani (**Figura 64**), localizado sob a Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai, está confinado em 90% de sua extensão (Kemper et al., 2003; Tujchneider et al., 2003).

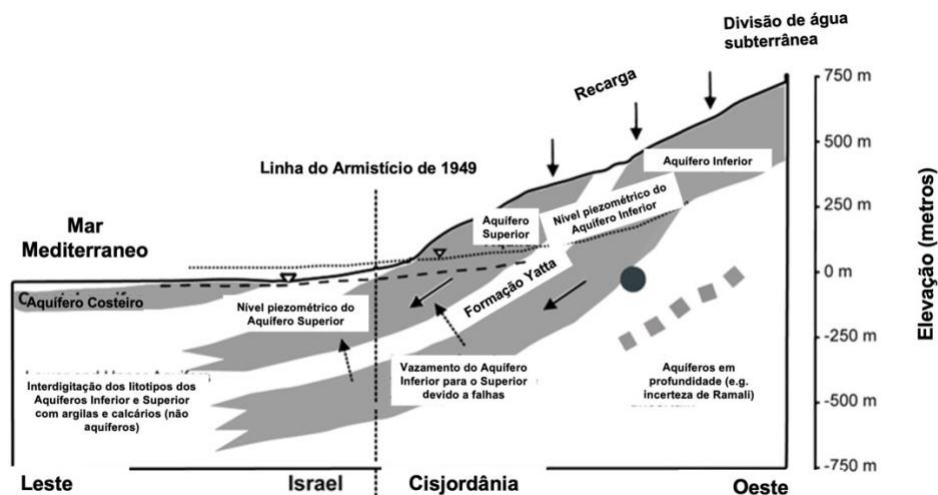


Figura 63 - Imagem mostrando uma seção transversal de 70 km (44 milhas) de extensão, no sentido oeste-leste, desde a costa do Mediterrâneo, atravessando Israel e a parte central da Bacia do Aquífero Ocidental (reproduzido de Mansour et al., 2012). A Linha de Armistício de 1949 serve como a fronteira de fato entre Israel e o Território Palestino da Cisjordânia."

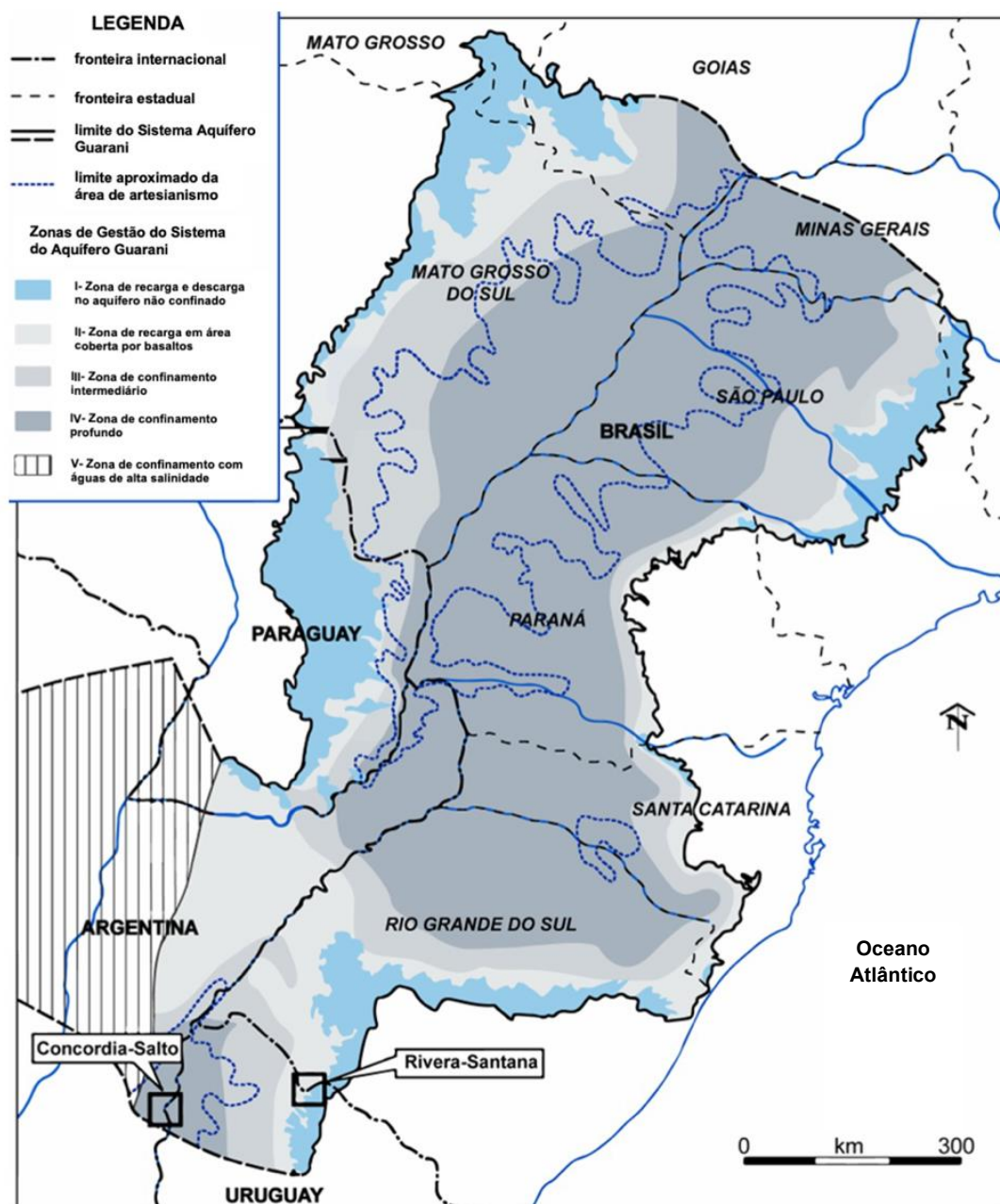


Figura 64 - Sistema Aquífero Guarani mostrando as zonas de gestão de recursos (reproduzido de Foster et al., 2009).

4.6 Modelo F: Aquífero Transfronteiriço Não Recarregável

O modelo final, Modelo F (**Figura 65**), nesta série também apresenta um cenário que tanto o direito internacional quanto as legislações nacionais ainda não consideraram plenamente. Este modelo retrata um aquífero transfronteiriço que não está relacionado a nenhum corpo de água superficial e não recebe recarga ou recebe uma recarga insignificante. Tais aquíferos, frequentemente contendo águas antigas, podem ser confinados ou não confinados, fossilizados ou conatos (Bouwer, 1978). Sendo assim, esses tipos de aquíferos não são recarregáveis e não podem ser explorados de maneira sustentável.

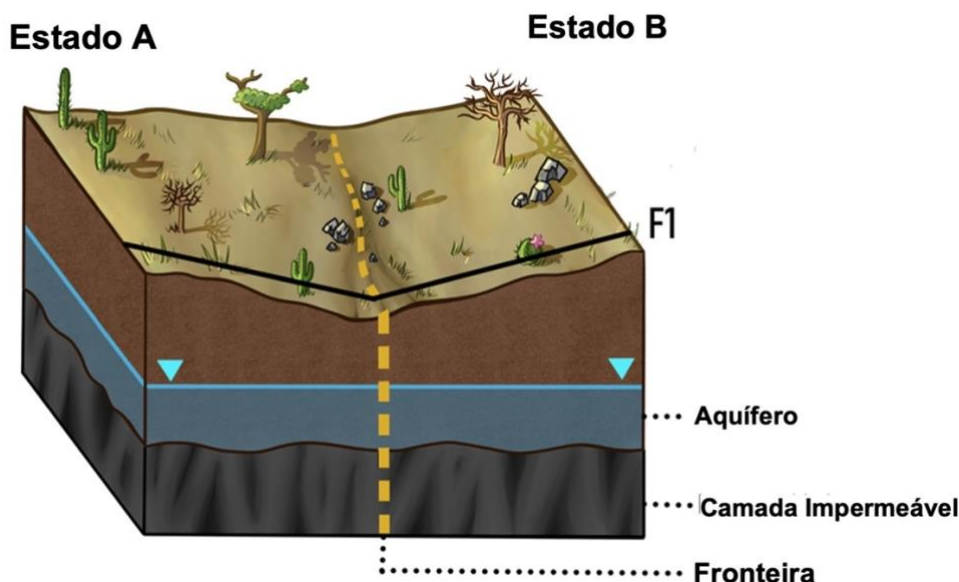


Figura 65 - Modelo F: Um aquífero transfronteiriço que não está relacionado a nenhum corpo de água superficial e é desprovido de qualquer recarga significativa. A linha preta identificada como F1 indica a localização de uma seção transversal que será referenciada em figuras subsequentes para este modelo.

Qualquer extração de um aquífero sem recarga irá esgotá-lo. Como resultado, as consequências transfronteiriças associadas a essas formações geológicas distintas são quase exclusivamente uma função do bombeamento do aquífero em uma ou mais das jurisdições sobrepostas. Quando uma jurisdição inicia a exploração de água subterrânea a partir de um poço que penetra tal aquífero, isso gerará um cone de depressão em constante expansão, que eventualmente invadirá a fronteira política (**Figura 66**). Quaisquer restrições às taxas de bombeamento contínuo que o direito interno, o direito internacional ou um acordo entre as jurisdições sobrepostas imponham à extração podem reduzir a taxa de expansão do cone de depressão, mas nunca o impedirão de se expandir.

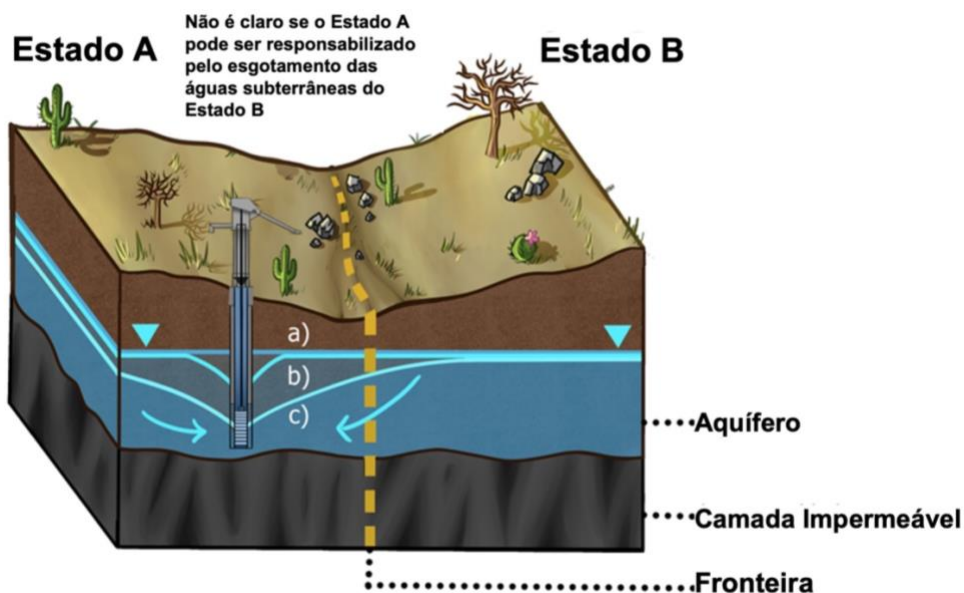


Figura 66 - No Modelo F, o Estado A bombeia água de um aquífero sem recarga em seu lado da fronteira, como ilustrado pelo cone de depressão em expansão ao longo da seção transversal F1 na parte frontal da imagem. a) Nível freático antes do início do bombeamento. b) Nível freático logo após o início do bombeamento, com o cone de depressão restrito ao Estado A. c) Nível freático após um período prolongado de bombeamento, com o cone de depressão se estendendo significativamente para dentro do Estado B. As direções do fluxo de água subterrânea no diagrama correspondem à condição (c). Embora o Estado A possa ser considerado responsável pelo esgotamento do aquífero, incluindo no lado do Estado B, não está claro se ele poderá ser responsabilizado juridicamente pela reparação dos danos relativos a esse esgotamento, devido à natureza não recarregável do aquífero.

Além disso, dois poços concorrentes em lados opostos de uma fronteira criarão dois cones de depressão que eventualmente se sobreporão e se fundirão. As taxas de expansão dos cones de depressão dependerão das taxas específicas de extração e das propriedades hidráulicas do aquífero (**Figura 67**). Em qualquer cenário, seja o bombeamento realizado em um ou ambos os lados da fronteira política, se as jurisdições envolvidas não interromperem completamente a extração de água subterrânea, eventualmente o aquífero será totalmente esgotado. Como resultado, embora a atribuição de responsabilidade por um determinado resultado não deva ser difícil, visto que o dano transfronteiriço é inevitável, determinar se a responsabilidade deve ser aplicada é outra questão. Possivelmente, quando um Estado causa um esgotamento extremo do aquífero, a responsabilidade pode ser apropriada. No entanto, determinar o limite entre um esgotamento aceitável e inaceitável é uma avaliação subjetiva, que talvez seja melhor resolvida por meio de negociações, em vez de um processo de adjudicação.

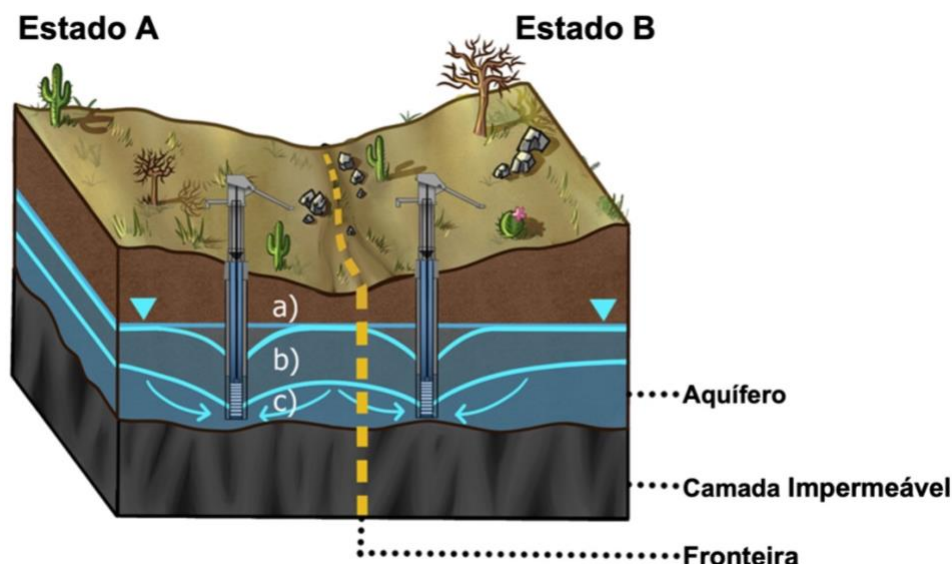


Figura 67 - O Estado A e o Estado B bombeiam à mesma taxa no Modelo F, conforme mostrado pelos cones de depressão em expansão ao longo da seção transversal F1 na parte frontal da imagem. O poço do Estado A está mais distante da fronteira do que o poço do Estado B. a) Nível freático antes do início do bombeamento. b) Nível freático logo após o início do bombeamento, com o cone de depressão de cada poço permanecendo completamente dentro do estado onde está localizado. c) Nível freático após um período prolongado de bombeamento, com os cones de depressão se fundindo e o fluxo de água subterrânea movendo-se do Estado A para o Estado B, já que o poço do Estado B está mais próximo da fronteira. As direções do fluxo de água subterrânea no diagrama estão associadas à condição (c). Embora o Estado B possa ser responsável por induzir o fluxo de água subterrânea debaixo do Estado A em direção ao seu poço, esgotando a seção do aquífero do Estado A, não está claro se o Estado B pode ser responsabilizado pelos danos causados por essa ação, dado que este é um aquífero sem recarga.

Outra preocupação com o aquífero sem recarga retratado no Modelo F é que ele pode ser suscetível à poluição em situações distintas. Se poluentes forem injetados no aquífero em uma taxa baixa ou moderada, ou se contaminantes naturais forem encontrados em uma seção do aquífero, essas impurezas permanecerão localizadas e concentradas devido à ausência de fluxo significativo e à falta de entrada de água doce para diluição em aquíferos sem recarga (**Figura 68**). No entanto, uma vez que um poço de extração seja instalado no aquífero, a ação de bombeamento criará um fluxo artificial que pode tanto dispersar os poluentes por uma parte do aquífero quanto puxá-los em direção ao poço. Assim, o aquífero pode se contaminar mais amplamente se for bombeado em qualquer momento após a chegada dos contaminantes.

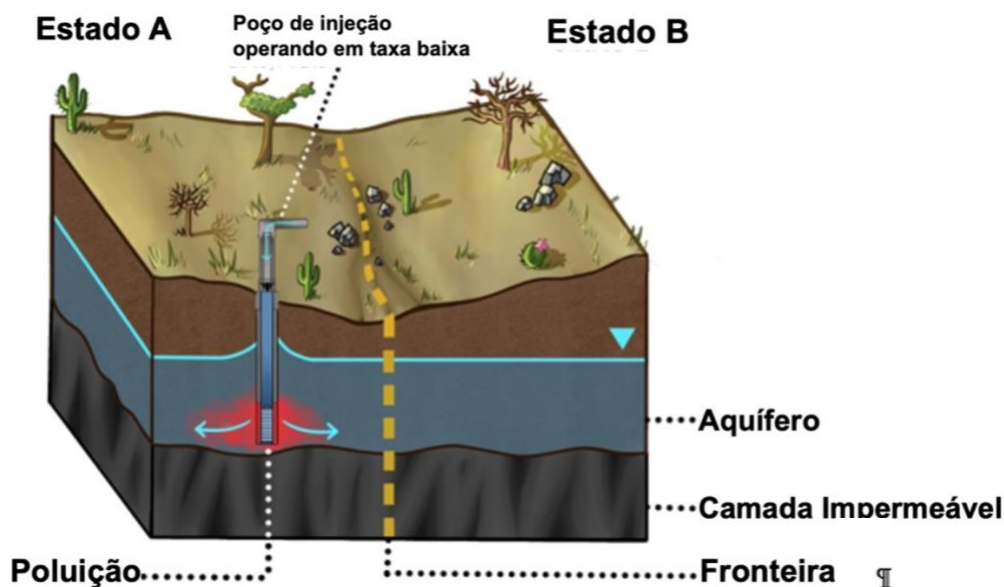


Figura 68 - O Estado A injeta poluentes no aquífero a uma taxa de injeção relativamente baixa. Os poluentes permanecem localizados ao redor do poço e ficam dentro do Estado A, conforme mostrado ao longo da seção transversal F1 na parte frontal desta imagem.

Se um poço de extração estiver relativamente próximo à poluição, o processo de extração pode ajudar a remover a contaminação do aquífero. No entanto, se o poço de extração estiver localizado no Estado vizinho (não poluente), ele puxará a poluição através da fronteira (**Figura 69**). Além disso, quanto mais distante o poço estiver da fonte de poluição, mais a contaminação será dispersa no aquífero (**Figura 70**). Uma vez que esses aquíferos se tornam poluídos, eles são extremamente difíceis — se não impossíveis — de remediar. Além disso, a ausência de recarga natural e de fluxo para e dentro do aquífero minimiza a maioria dos processos naturais de atenuação comuns a aquíferos com fluxo.

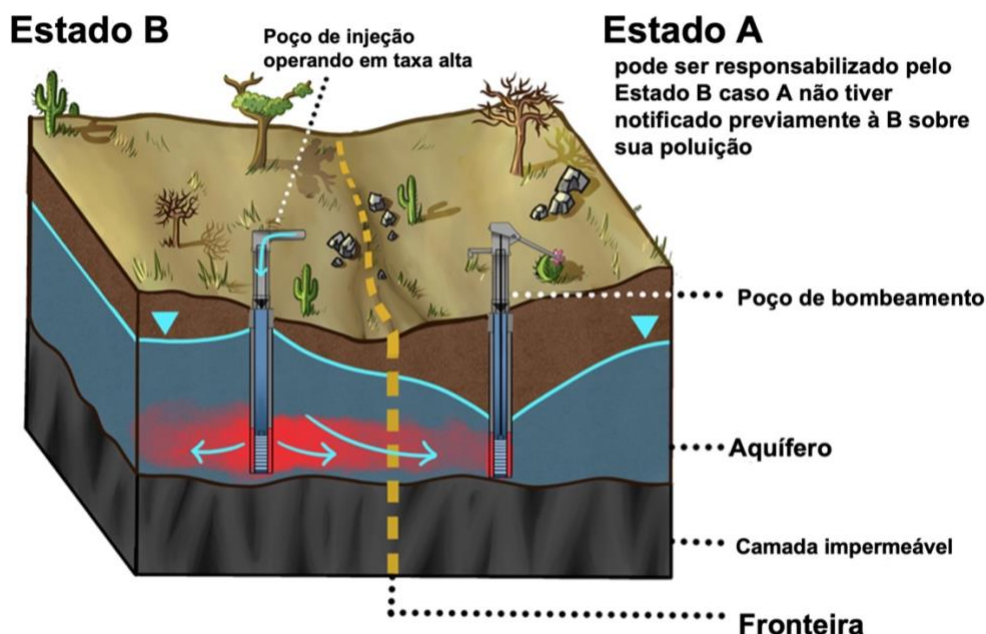


Figura 69 - O Estado A injeta poluentes no aquífero a uma taxa elevada, e o Estado B bombeia água de um poço próximo à fronteira. Os poluentes migram para o Estado B devido ao poço de bombeamento, mas não se dispersam amplamente em seu território por conta da proximidade do poço com a fronteira, conforme mostrado ao longo da seção transversal F1 na parte frontal desta imagem. Embora o Estado A possa ser responsável por injetar poluentes no aquífero, é o Estado B que causa o fluxo da poluição através da fronteira para seu território. Se o Estado A não tiver notificado adequadamente o Estado B de sua injeção de poluentes previamente, pode ser considerado responsável perante o Estado B. No entanto, se o Estado B tiver conhecimento das atividades e da contaminação antes de iniciar suas extrações, sua reivindicação de responsabilidade contra o Estado A no sentido de reparar os danos decorrentes da poluição será significativamente enfraquecida.

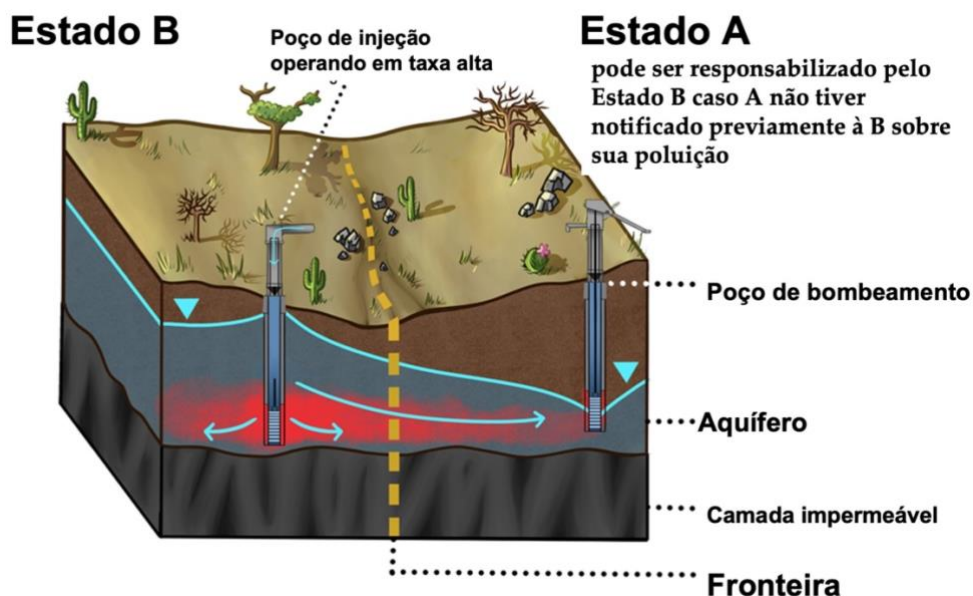


Figura 70 - O Estado A injeta poluentes no aquífero a uma taxa elevada, e o Estado B bombeia água de um poço distante da fronteira. Os poluentes migram através da fronteira para o Estado B e se dispersam amplamente em seu território devido à distância do poço em relação à fronteira, conforme mostrado na seção transversal F1 na parte frontal desta imagem. A análise de responsabilidade aplicada à **Figura 69** também se aplica aqui.

No que diz respeito à responsabilidade por poluição transfronteiriça em um aquífero sem recarga, onde o Estado A injeta poluentes no aquífero, a ausência de fluxo significativo manteria a contaminação localizada (**Figura 68**). A menos que a injeção de poluentes tenha ocorrido diretamente na fronteira, com a consciência de que a área contaminada atravessaria o limite, o Estado A não seria considerado responsável. Se o Estado B iniciasse a extração de água subterrânea em seu lado da fronteira, provocando a migração da poluição para o seu território (**Figura 69** e **Figura 70**), o Estado A provavelmente não seria responsabilizado, dado que o fluxo transfronteiriço foi causado pelo Estado B, a menos que outros fatores atenuantes fossem comprovados. Por exemplo, se o Estado A não informasse o Estado B sobre a introdução de poluentes no aquífero, a reivindicação do Estado B contra o Estado A seria fortalecida. No entanto, se o Estado B soubesse da contaminação das águas subterrâneas no Estado A antes de iniciar suas atividades de bombeamento, sua reivindicação de responsabilidade contra o Estado A seria significativamente enfraquecida.

O cenário representado no Modelo F mostra um aquífero não confinado e sem recarga atravessando uma fronteira política. Esses aquíferos geralmente estão localizados em zonas áridas, onde as taxas de recarga são insignificantes. Exemplos incluem:

- O Aquífero de Arenito Núbio (**Figura 71**) sob a Líbia, Chade, Egito e Sudão (LaMoreaux et al., 1985; Sultan et al., 2004);
- O Sistema Aquífero do Noroeste do Saara (**Figura 72**), situado sob a Argélia, Líbia e Tunísia (Gonçalvès et al., 2013); e
- O Aquífero Disi (**Figura 73**) — também conhecido como Aquífero Saq Ram — localizado sob o sul da Jordânia e o norte da Arábia Saudita (United Nations Economic and Social Commission for Western Asia (UN ESCWA) & Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Instituto Federal de Geociências e Recursos Naturais.] (BGR), 2013).

Como não há uma zona distinta de recarga ou descarga — exceto pela evaporação do nível freático exposto nos oásis — o nível freático nesses aquíferos é quase horizontal, e a água é estagnada, com pouco fluxo perceptível, geralmente direcionado para os poços existentes.

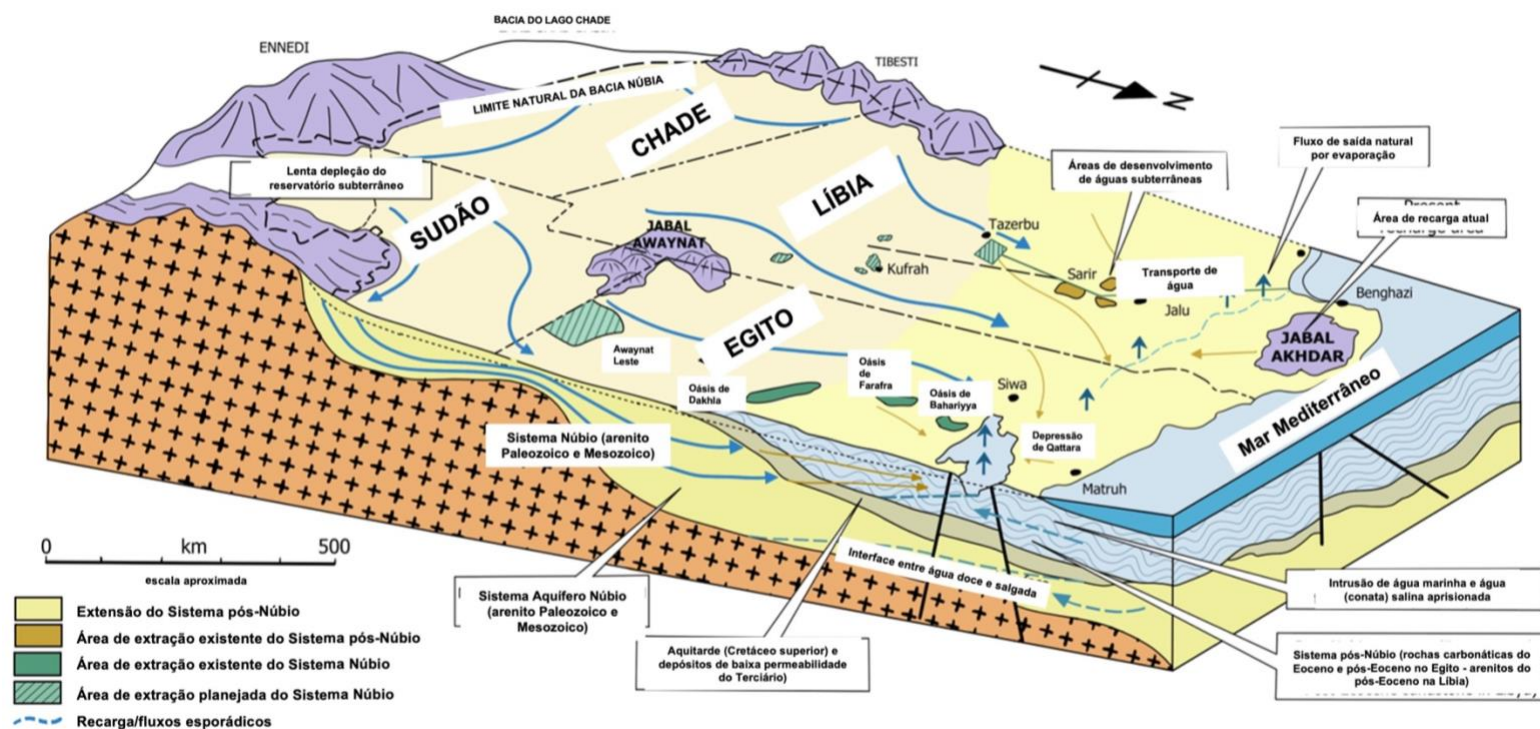


Figura 71 - O Aquífero de Arenito Núbio, sem recarga, situado sob partes da Líbia, Chade, Egito e Sudão (modificado de Abdellatif & Sirag, 2015).

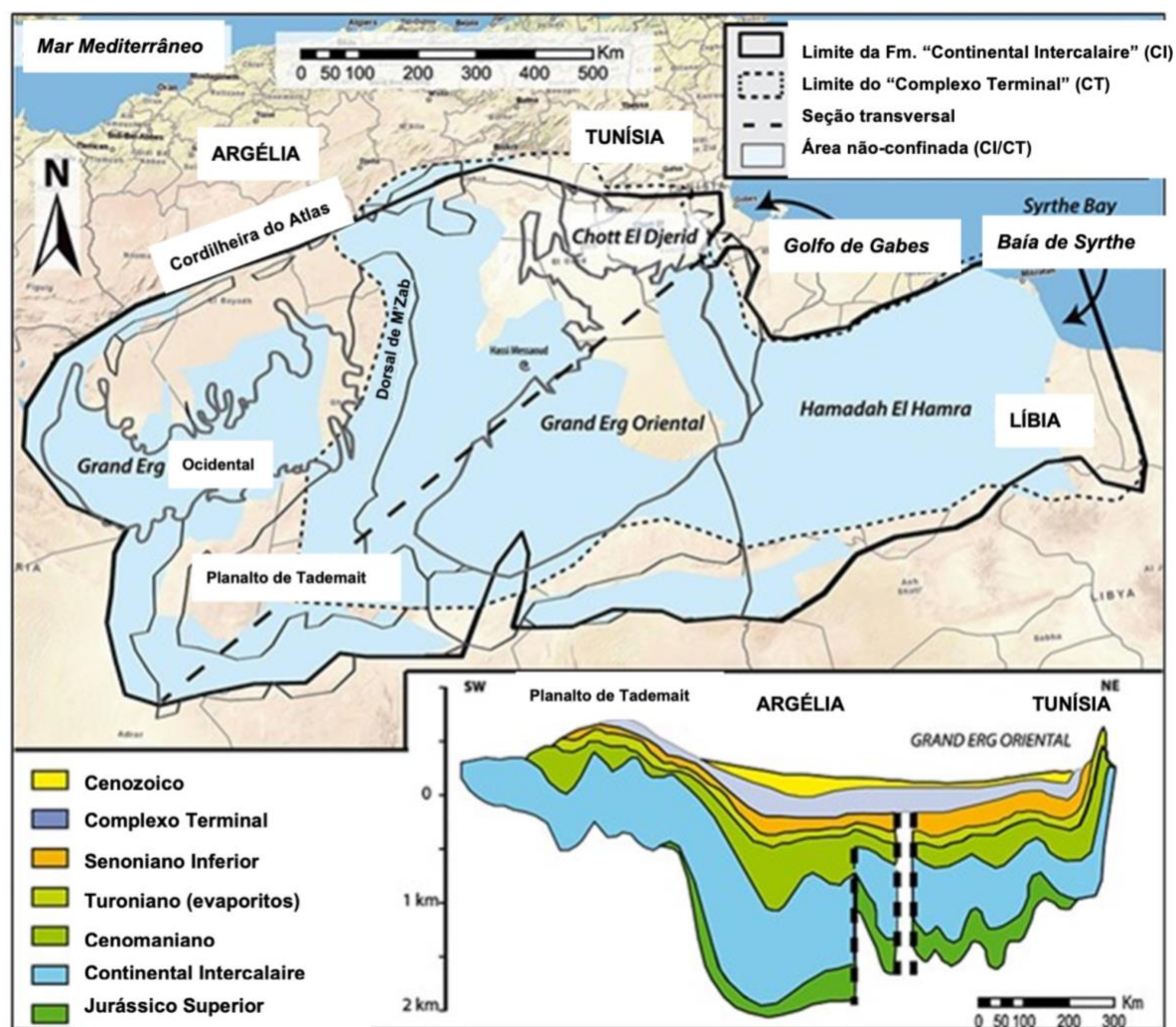


Figura 72 - O Sistema Aquífero do Noroeste do Saara, sem recarga, atravessando as fronteiras da Argélia, Líbia e Tunísia (reproduzido de Gonçalves et al., 2013).

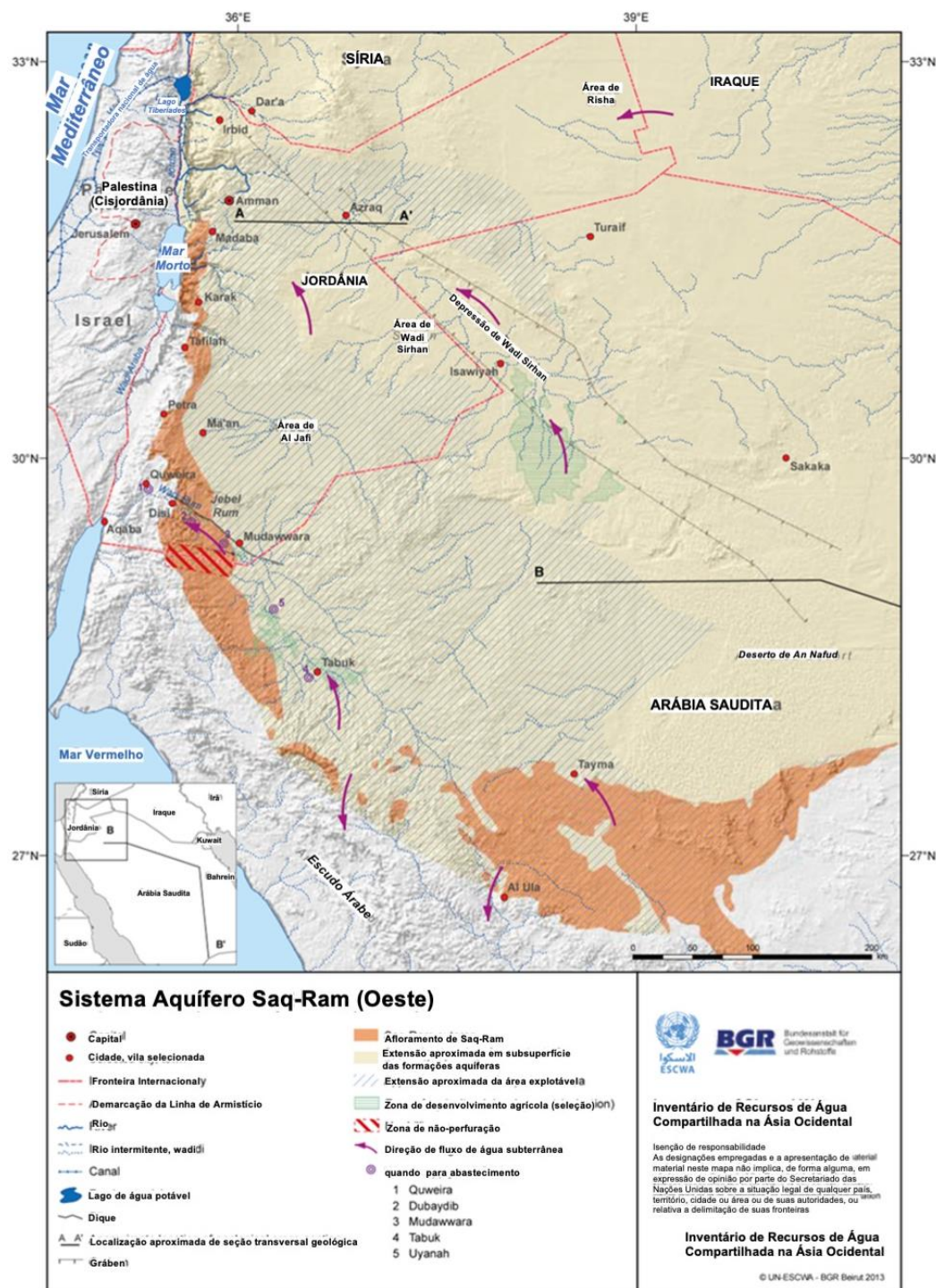


Figura 73 - O Aquífero Disi, sem recarga, - também conhecido como Aquífero Saq Ram - situado sob o sul da Jordânia e o norte da Arábia Saudita (reproduzido de United Nations Economic and Social Commission for Western Asia, 2013).

Alguns estudiosos traçaram comparações entre aquíferos fósseis e outros recursos naturais não renováveis e esgotáveis—como os depósitos de petróleo e gás natural—e exploraram a aplicação de regimes legais semelhantes aos recursos renováveis de água subterrânea (Caponera & Nanni, 2019; Jarvis, 2014). Tais regras, entretanto, geralmente se concentram em maximizar a exploração do recurso, em vez de nos usos que a água subterrânea pode e deve ter. De acordo com essas regras, os direitos de propriedade são

divididos em relação aos volumes negociados e acordados, ou em função da capacidade do bombeador de extrair o recurso. Além disso, a responsabilidade por danos transfronteiriços ou interferência nos direitos sobre os recursos transfronteiriços subterrâneos de petróleo e gás surge principalmente no contexto de violações contratuais, e ocasionalmente por alegações de roubo intencional dos recursos."

Embora o foco na exploração dessa abordagem possa não invalidar sua relevância e aplicabilidade aos recursos hídricos subterrâneos transfronteiriços, é necessário reconhecer que as águas subterrâneas, sejam elas recarregáveis ou não, possuem qualidades únicas em comparação com os depósitos de petróleo e gás. Por exemplo, o regime de desenvolvimento de hidrocarbonetos não foi concebido para levar em conta os aspectos de direitos humanos, benefícios culturais e ambientais relacionados às águas subterrâneas. Além disso, ele não pode compensar a realidade de que, enquanto os recursos energéticos, como petróleo e gás, possuem alternativas — por exemplo, solar, eólica, hídrica, entre outras — não há alternativas para a água. Ademais, aquíferos sem recarga podem ser recarregados por meios artificiais, como injeção, piscinas de infiltração, escoamento superficial excedente, fluxos de retorno e águas residuais tratadas. Assim, a vida útil desses recursos pode ser estendida de maneiras que os depósitos de petróleo e gás não podem, e geridos de formas que seriam economicamente inviáveis no setor de hidrocarbonetos

A falta de experiência na gestão de tais recursos não renováveis na escala internacional ou intraestadual tem dificultado o surgimento de princípios e regras relevantes para sua governança. Assim, as semelhanças com os depósitos de petróleo e gás apresentam possibilidades atraentes para alguns. No entanto, dadas as disparidades mencionadas nesta discussão, pode ser razoável sugerir que a responsabilidade por esgotamento ou contaminação de águas subterrâneas fósseis e connatas transfronteiriças deveria ter um escopo mais amplo, considerando os aspectos não econômicos da água subterrânea, como direitos humanos e questões culturais. Além disso — e pelo mesmo motivo — o regime provavelmente deveria estabelecer um limiar para danos e interferências que fosse inferior ao aplicado aos depósitos transfronteiriços de petróleo e gás."

5 Considerações Adicionais para Determinação de Responsabilidade e Compensação

No que diz respeito à atribuição de responsabilidade e compensação pelo uso e gestão de aquíferos que atravessam fronteiras políticas, os modelos e discussões apresentados neste livro oferecem diversos fatores e circunstâncias que devem ser considerados. Nenhum deles é exaustivo, especialmente porque as condições naturais podem ser variáveis.

Por exemplo, a relação entre um rio e um aquífero pode variar ao longo da interface dessa relação. Em outras palavras, um rio pode estar ganhando água de um aquífero subjacente em uma seção do seu curso (rio efluente) e perdendo água em outra seção (rio influente). Isso pode ocorrer com o mesmo aquífero ou com diferentes aquíferos, dependendo da topografia, geologia subjacente, precipitação, permeabilidade do solo e condutividade hidráulica. Além disso, a relação de ganho e perda entre um rio e um aquífero subjacente está sujeita a condições climáticas e pode literalmente mudar com o clima, criando, assim, o potencial para consequências transfronteiriças intermitentes (Woessner, 2020).

De forma semelhante, diversos fatores devem ser considerados ao avaliar as condições de contaminação transfronteiriça. Por exemplo, contaminação proveniente de fontes naturais geralmente não é passível de ação legal. Em outras palavras, uma reclamação do Estado B contra o Estado A por arsênio ou rádio de ocorrência natural que flua naturalmente através da fronteira provavelmente não terá sucesso. Isso é válido tanto quando o fluxo é natural como quando o poço do Estado B faz com que a água contaminada da seção do aquífero no Estado A flua para o Estado B. No entanto, quando a contaminação é artificial—por exemplo, poluentes antropogênicos—o desfecho de uma reclamação pode depender da direção do fluxo natural, da extensão da atividade de bombeamento, do tempo em que a contaminação esteve presente no Estado A, do conhecimento prévio e notificação da contaminação, das medidas mitigatórias tomadas, entre outros fatores. Assim, quando a poluição antropogênica no Estado A migra através da fronteira como resultado do fluxo natural do aquífero, o Estado B pode ter uma reclamação contra o Estado A, dependendo da gravidade da contaminação.

Por outro lado, se o bombeamento no Estado B for considerado responsável por causar a migração da poluição da seção do aquífero do Estado A para o Estado B, pode-se argumentar que a reivindicação de responsabilidade do Estado B deve ser rejeitada. No entanto, isso dependeria de várias normas legais relacionadas ao conhecimento prévio do Estado A sobre os contaminantes em seu território, ao conhecimento do Estado B sobre a contaminação no Estado A, se o Estado A forneceu ao Estado B um aviso adequado sobre a situação, e dos esforços que ambos os estados podem ter empreendido para mitigar a potencial migração transfronteiriça dos contaminantes. Este é o tema do [Exercício 2](#).

6 Conclusão

As águas subterrâneas e os aquíferos transfronteiriços, tanto em nível nacional quanto internacional, estão se tornando fontes cada vez mais críticas de água doce para comunidades em todo o mundo. Ao mesmo tempo, a extração excessiva, a poluição, as mudanças climáticas e outras atividades antropogênicas estão colocando muitos desses recursos em risco. Como resultado, formuladores de políticas e partes interessadas em vários níveis da sociedade civil estão agora buscando regras e normas para sua governança, com o objetivo de proteger esses recursos no futuro. Muitos procuram entender as responsabilidades e possíveis obrigações de reparação de danos que podem surgir dos impactos transfronteiriços decorrentes do uso e exploração dessas preciosidades subterrâneas. Isso está ocorrendo tanto no nível internacional, entre duas ou mais nações soberanas que compartilham um aquífero comum, quanto no nível doméstico, entre duas ou mais unidades políticas subnacionais."

A realidade é que o direito aplicável aos recursos hídricos subterrâneos transfronteiriços, em ambos os níveis de governança, está em um estágio inicial. Além disso, estabelecer responsabilidade e compensação no contexto dos recursos hídricos subterrâneos transfronteiriços pode ser uma tarefa bastante complexa, exigindo que os formuladores de políticas tenham um conhecimento especializado sobre a ciência das águas subterrâneas. No entanto, à medida que as nações e unidades políticas subnacionais continuam a aumentar sua dependência dos aquíferos transfronteiriços, será necessário desenvolver princípios e normas que sejam baseados em ciência sólida e fundamentados na compreensão do valor distinto das águas subterrâneas para as pessoas e o meio ambiente.

7 Exercícios

Nos dois exercícios a seguir, a tarefa é considerar os três itens a seguir:

1. identificar as circunstâncias que têm potencial para gerar impactos transfronteiriços;
2. caracterizar essas circunstâncias em termos de responsabilidade e/ou compensação potencial pelos danos gerados; e
3. considerar ações em que as partes individuais possam evitar responsabilidade pelos danos.

Exercício 1 - O Aquífero Livre Leo

Conforme representado na imagem que acompanha este exercício, os Estados de Byakko, Dawon e Maahes sobrepõem-se a partes do Aquífero Leo. Não há corpos d'água superficiais significativos na região, exceto durante ocasionais enchentes repentinas.

- O Aquífero Leo é prioritariamente um aquífero livre.
- Byakko e Dawon são jurisdições áridas e recebem muito pouca precipitação, de modo que qualquer chuva evapora rapidamente e raramente infiltra no solo para alcançar o Aquífero Leo subjacente.
- A principal fonte de recarga para o Aquífero Leo ocorre nas elevações mais altas da região, que estão localizadas principalmente na nação semiárida de Maahes.
- Devido às características da formação do aquífero, bem como do terreno em Maahes, Maahes tem poucas oportunidades de utilizar o aquífero em seu território de maneira econômica ou significativa.
- O fluxo geral de água subterrânea dentro do aquífero é em direção ao sul, em direção ao Mar Sem Fim, onde o aquífero descarrega. A taxa de fluxo é relativamente lenta, e a água que infiltra em Maahes pode levar de 500 a 1.000 anos para chegar ao Mar Sem Fim.

Dawon tem bombeado água ao longo de sua fronteira ocidental nos últimos dez anos para uso em seu crescente setor de manufatura. A taxa de extração reduziu o nível freático nas proximidades do campo de poços e fez com que a água subterrânea fluísse em direção ao campo de poços em um raio de 50 km (≈ 31 milhas) ao redor dele."

Byakko e Dawon possuem vários oásis únicos próximos à sua fronteira, alimentados por nascentes onde a formação aquífera aflora na superfície. O bombeamento de água subterrânea por Dawon afetou o fluxo de água para os oásis e dentro deles, reduzindo a extensão geográfica dos oásis. Como resultado, a fauna que habitava os oásis, incluindo aves migratórias, foi negativamente impactada. Grupos ambientais nas três nações expressaram suas preocupações a ambos os governos, sem sucesso, embora Byakko pareça estar muito mais preocupado com os oásis do que Dawon.

As reservas de água subterrânea ao redor da capital de Byakko, Byakko City, foram contaminadas por infiltração de água do mar. Diante disso, Byakko planeja desenvolver um campo de poços ao norte da região dos seus oásis. O impacto desse projeto é desconhecido, mas hidrogeólogos de Dawon estão preocupados que ele possa afetar negativamente o campo de poços em Dawon e reduzir as taxas de extração do país. Grupos ambientais em Byakko e Dawon estão muito preocupados com o impacto que o novo campo de poços terá nos oásis já sobrecarregados.

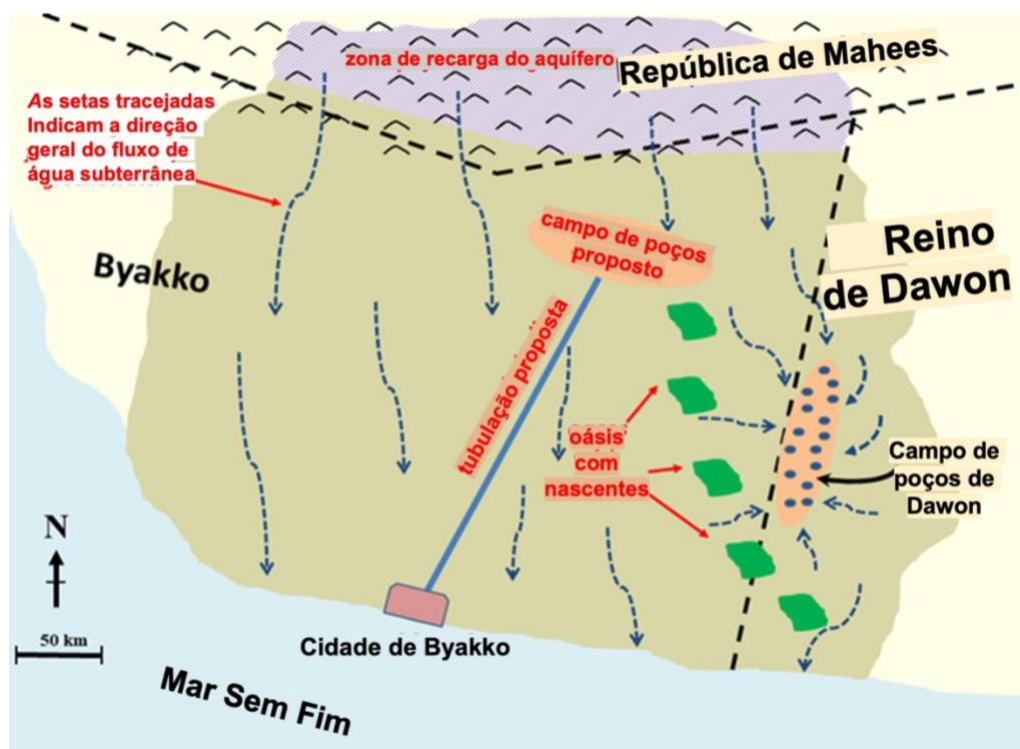
Byakko planeja iniciar a construção do campo de poços e da tubulação de transmissão em aproximadamente quatro meses.

Para atender à sua população crescente e à demanda por alimentos, Maahes começou a expandir as técnicas de agricultura em terraços nas encostas, que seus habitantes utilizam há gerações. Como parte dessa expansão, Maahes começou a implementar duas técnicas modernas.

1. Para aumentar a produtividade agrícola, Maahes introduziu fertilizantes e pesticidas.
2. Para disponibilizar mais água para fins agrícolas, construiu diversas pequenas barragens e reservatórios de retenção de água com fundos impermeabilizados para evitar vazamentos.

Embora nenhum estudo tenha sido realizado, muitas comunidades no norte de Byakko, assim como algumas em Dawon, têm reclamado da piora na qualidade e na quantidade de suas águas subterrâneas, acusando Maahes de causar essa deterioração.

Individualmente, nenhum dos Estados possui recursos adequados para realizar estudos técnicos sobre o aquífero, seu fluxo e a qualidade da água. A imagem a seguir mostra um mapa para este exercício

Mapa do Exercício 1 [50 km $\cong$ 31 milhas]

A resposta do Exercício 1 é apresentada em três partes:

1. o campo de poços de Dawon ao longo de sua fronteira oeste;
2. o plano de Byakko para desenvolver um campo de poços ao norte de sua região de oásis; e
3. as práticas agrícolas de Maahes.

Para cada um desses cenários, pede-se ao leitor que realize três tarefas:

- a) identificar as circunstâncias que têm potencial para impactos transfronteiriços;
- b) caracterizar essas circunstâncias em termos de potencial responsabilidade e/ou obrigação de reparação dos danos,
- c) considerar ações que tomadas pelas partes individuais contribuem para evitar a responsabilidade pelos danos.

[Resposta do Exercício 1](#) ↴

[Retornar ao ponto onde o texto se conecta ao Exercício 1](#) ↴

Exercício 2 - O Rio Zini e o Aquífero Yarow

Conforme ilustrado na imagem que acompanha este exercício, partes dos Estados de Arcádia, Brosnia e Cadland estão dentro da bacia hidrográfica do Rio Zini. Os três também sobrepõem partes do Aquífero Yarow.

- O Aquífero Yarow é prioritariamente um aquífero livre, cuja extensão geográfica e limites ainda não foram completamente identificados.
- O ponto central do Rio Zini serve como a fronteira entre Arcádia e Brosnia, desde a região das três fronteiras até o Mar Wallow.
- O rio e o aquífero estão hidrologicamente conectados. Nas partes superiores da bacia hidrográfica, o Zini é um rio efluente; em algum ponto próximo à região das três fronteiras, na área de clima mais árido, o Zini se torna um rio influente; então, logo acima de seu último afluente, o Rio Zini volta a ser um rio efluente, ao entrar no Pântano Xenia, pouco antes de desaguar no Mar Wallow.
- O Pântano Xenia é um ponto de parada para milhões de aves migratórias, incluindo algumas que são consideradas ameaçadas devido à perda de habitat em outros países distantes, onde passam metade do ano.
- O clima da região é semiárido, e as chuvas ocorrem principalmente no final do inverno. O restante do ano é relativamente quente e seco, embora as temperaturas sejam mais moderadas em Cadland, que está localizada em uma região de elevação mais alta. As taxas de chuva regionais variam conforme o ano e geralmente são imprevisíveis.
- Cadland está na faixa inferior da escala de classificação de renda média-baixa do Banco Mundial; tanto Arcádia quanto Brosnia estão no meio da escala de classificação de renda média-alta do Banco.

Devido à sua topografia e à maior abundância relativa de águas superficiais, Cadland está mais interessado em desenvolver o Rio Zini e seus afluentes em seu território. Uma das prioridades de Cadland é expandir sua indústria de mineração. A atividade de mineração requer volumes consideráveis de água para lavar o minério, e Cadland pretende utilizar o rio para o escoamento de retorno. No entanto, grupos ambientais em Arcádia e Brosnia levantaram preocupações sobre a poluição da água e estão mobilizando seus governos para dialogar com Cadland sobre o assunto.

Arcádia e Brosnia começaram a desenvolver campos de poços que bombeiam água do Aquífero Yarow dentro de seus respectivos territórios. Ambos os Estados precisam da água para expandir seus setores agrícolas e alimentar suas populações em crescimento. A imagem a seguir fornece um mapa para este exercício.



Mapa do Exercício 2 [25 km $\cong$ 16 milhas]

A resposta para o Exercício 2 é apresentada em duas partes:

1. a emergente indústria de mineração de Cadland; e
2. os campos de poços de Arcadia e Brosnia.

Para cada um desses cenários, pede-se ao leitor que realize três tarefas:

- a) identificar as circunstâncias que têm potencial para impactos transfronteiriços;
- b) caracterizar as circunstâncias em termos de responsabilidade e/ou compensação potencial; e
- c) considerar ações que tomadas pelas partes individuais contribuem para evitar a responsabilidade pelos danos.

[Resposta do Exercício 2](#) ↴

[Retornar ao ponto onde o texto está vinculado ao Exercício 2](#) ↴

8 Referências

- Abdellatif, M. M., & Sirag, N. M. (2015). Proposal sites for spent fuel disposal in Egypt by using GIS program. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(5), 2725–2733.
<https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2015.0405011>↗.
- Anderson, T. W. (1995). *Summary of the southwest alluvial basins, regional aquifer-system analysis, south-central Arizona and parts of adjacent states, regional aquifer-system analyses - southwest alluvial basins, Arizona and adjacent states* (Professional Paper 1406-A). US Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/pp/1406a/report.pdf>↗.
- Arias, H. M. (2000). International groundwaters: The Upper San Pedro River Basin case. *Natural Resources Journal*, 40(2), 199–221.
<https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1635&context=nri>↗.
- Bouwer, H. (1978). *Groundwater hydrology*. McGraw-Hill.
- British Columbia (BC) Ministry of Environment (n.d.). *Abbotsford-Sumas Aquifer International Task Force*. BC Ministry of Environment.
https://www.env.gov.bc.ca/wsd/plan_protect_sustain/groundwater/aquifers/absu_mas.html↗.
- Caccese, R. T., & Fowler, L. B. (2020). Reasonable use?: The challenges of transboundary groundwater regulation in the eastern US. *Journal of the American Water Resources Association*, 56(3), 379–386. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12840>↗.
- Canadian River Basin Map. (2022, September 19). In *Wikipedia*.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Canadian_River_basin_map.png↗.
- Caponera, D. A., & Nanni, M. (2019). *Principles of water law and administration* (3rd ed.). Routledge.
- Eckstein, G. (2017). *The international law of transboundary groundwater resources*. Routledge.
<https://goo.gl/ouHqoz>↗.
- Eckstein, G., & Eckstein, Y. (2003). A hydrogeological approach to transboundary ground water resources and international law. *American University International Law Review*, 19(2), 201–258.
<https://digitalcommons.wcl.american.edu/auilr/vol19/iss2/1/>↗.
- Eckstein, G., & Hardberger, A. (2008). State practice in the management and allocation of transboundary ground water resources in North America. *Yearbook of International Environmental Law*, 18(1), 96–125.
<https://scholarship.law.tamu.edu/facscholar/582>↗.

- Eckstein, Y., & Eckstein, G. (2005). Transboundary aquifers: Conceptual models for development of international law. *Groundwater*, 43(5), 679–690.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2005.00098.x>.
- Ellis, J. H., Mashburn, S. L., Graves, G. M., Peterson, S. M., Smith, S. J., Fuhrig, L. T., Wagner, D. L., & Sanford, J. E. (2017). *Hydrogeology and simulation of groundwater flow and analysis of projected water use for the Canadian River alluvial aquifer, western and central Oklahoma* (Scientific Investigations Report 2016-5180). US Geological Survey.
<https://doi.org/10.3133/sir20165180>.
- European Commission. (2007). *Common implementation strategy for the Water Framework Directive: Guidance Document Number 16: Guidance on groundwater in drinking water protected areas* (Technical Report-2007-010). Luxemburg Office for the Official Publications of the European Commission.
<https://circabc.europa.eu/sd/a/aef48d98-7715-4828-a7ee-df82a6df4afb/Guidance%20No%2016%20-%20Groundwater%20in%20DWPAs.pdf>.
- Flint, A. L., Jennifer, L. E., Curtis, J. A., & Buesch, D. C. (2011). *A Preliminary Water Balance Model for the Tigris and Euphrates River System*. USGS.
https://ca.water.usgs.gov/projects/reg_hydro/projects/Flint_water-balance-model-tigris-euphrates_2011.pdf.
- Food & Agriculture Organisation of the United Nations (FAO). (2008). *AQUASTAT country profile - Iraq*. FAO. <https://www.fao.org/3/ca0340en/CA0340EN.pdf>.
- Foster, S., Hirata, R., Vidal, A., Schmidt, G., & Garduño, H. (2009). *The Guarani Aquifer initiative - Towards realistic groundwater management in a transboundary context* (Sustainable Groundwater Management Series, GW-MATE). The World Bank.
<https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/GWMATE%20case%20profile%20-%20Guarani.pdf>.
- Gonçalves, J., Petersen, J., Deschamps, P., Hamelin, B., & Baba-Sy, O. (2013). Quantifying the modern recharge of the “fossil” Sahara aquifers. *Geophysical Research Letters*, 40(11), 2673–2678. <https://doi.org/10.1002/grl.50478>.
- Hall, N. D., & Cavataro, B. L. (2013). Interstate groundwater law in the Snake Valley: Equitable apportionment and a new model for transboundary aquifer management. *Utah Law Review*, 2013(1553), 1626.
<https://digitalcommons.wayne.edu/lawfrp/419/>.
- Hall, N. D., & Regalia, J. (2016). Interstate groundwater law revisited: Mississippi v. Tennessee. *Virginia Environmental Law Journal*, 34(152), 203.
<https://digitalcommons.wayne.edu/lawfrp/467/>.
- Hayton, R., & Utton, A. E. (1989). Transboundary ground waters: The Bellagio Draft Treaty. *Natural Resources Journal*, 29, 663.

- <https://digitalrepository.unm.edu/nrj/vol29/iss3/4/> ↗.
- Hebard, E. M. (2000). A focus on a binational watershed with a view toward fostering a cross-border dialogue. *Natural Resources Journal*, 40(2), 281–340.
- <https://www.jstor.org/stable/24888640> ↗.
- Hibbs, B. J., Darling, B. K., & Jones, I. C. (1998). Hydrogeological regimes of arid-zone aquifers beneath low-level radioactive waste and other waste repositories in Trans-Pecos, Texas and northern Chihuahua, Mexico. In J. V. Brahana, Y. Eckstein, L. K. Ongley, R. Schneider, & J. E. Moore (Eds.), *Gambling with groundwater: Physical, chemical and biological aspects of aquifer-stream relations* (pp. 311–322). Proceedings of the Joint Meeting of the XXVIII Congress of the International Association of Hydrogeologists.
- International Boundary and Water Commission (IBWC). (1998). *Transboundary Aquifers and Binational Ground Water Database for the City of El Paso/Ciudad Juárez Area*. [IBWC https://www.ibwc.gov/wp-content/uploads/2023/07/Transboundary_Aquifers_Binational_GWD_EP_CJA.pdf](https://www.ibwc.gov/wp-content/uploads/2023/07/Transboundary_Aquifers_Binational_GWD_EP_CJA.pdf) ↗.
- International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC). (2021). *Transboundary aquifers of the world* [map]. Scale 1 : 50 000 000. IGRAC. https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/TBAMap_2021_0.pdf ↗.
- International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC). (2022). *Transboundary aquifers of Africa* [map]. IGRAC. <https://www.un-igrac.org/resource/transboundary-aquifers-africa-map-2022>
- International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC). (2022). *Transboundary aquifers of Asia and Oceania* [map]. IGRAC. <https://www.un-igrac.org/resource/transboundary-aquifers-asia-and-oceania-map-2022>
- International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC). (2022). *Transboundary Aquifers of Europe* [map]. IGRAC. <https://www.un-igrac.org/resource/transboundary-aquifers-europe-map-2022>
- International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC). (2022). *Transboundary aquifers of central and southern America* [map]. IGRAC. <https://www.un-igrac.org/resource/transboundary-aquifers-central-and-southern-america-map-2022>
- International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC). (2022). *Transboundary aquifers of North America* [map]. IGRAC. <https://www.un-igrac.org/resource/transboundary-aquifers-north-america-map-2022>
- International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC). (2022). *Transboundary Aquifers of the Middle East* [map]. IGRAC. <https://www.un-igrac.org/resource/transboundary-aquifers-middle-east-map-2022>

- International Law Association. (1964). *Report of the forty-eighth conference*. In M. M. Whiteman (Ed.), *Department of State Digest of International Law*. HeinOnline, 3. (Reprinted from "Report of the forty-eighth conference," 1958, International Law Association).
- <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.ilarc/ilarc1958&div=1&src=home>.
- Jarvis, T. W. (2014). *Contesting hidden waters: Conflict resolution for groundwater and aquifers*. Routledge.
- Kemper, K. E., Mestre, E., & Amore, L. (2003). Management of the Guarani aquifer system: Moving towards the future. *Water International*, 28(2), 185–200.
- <https://doi.org/10.1080/02508060308691684>.
- LaMoreaux, P. E., Memon, B. A., & Idris, H. (1985). Groundwater development, Kharga Oases, western desert of Egypt: A long-term environmental concern. *Environmental Geology and Water Science*, 7, 129–149. <https://doi.org/10.1007/BF02528797>.
- Mansour, M. M., Peach, D. W., Hughes, A. G., & Robins, N. S. (2012). Tension over equitable allocation of water: estimating renewable groundwater resources beneath the West Bank and Israel. *Geological Society, London, Special Publications*, 362(January), 355–361. <https://doi.org/10.1144/SP362.20>.
- Mijatovic, B. F. (1998). Prevention of over-exploitation of deep aquifers in Vojvodina, northern Yugoslavia. In J. V. Brahana, Y. Eckstein, L. K. Ongley, R. Schneider, & J. E. Moore (Eds.), *Gambling with groundwater: Physical, chemical and biological aspects of aquifer-stream relations*. Proceedings of the Joint Meeting of the XXVIII Congress of the International Association of Hydrogeologists.
- Mississippi v. Tennessee et al., 143, Orig. U.S. 1 (2021).
- https://www.supremecourt.gov/opinions/21pdf/143orig_1qm1.pdf.
- Mukherjee, A., Scanlon, B., Aureli, A., Langan, S., Guo, H., & McKenzie, A. (2021). Global groundwater: from scarcity to security through sustainability and solutions. In A. Mukherjee, B. Scanlon, A. Aureli, S. Langan, H. Guo, & A. McKenzie (Eds.), *Global groundwater: Source, scarcity, sustainability, security, and solutions* (pp. 3–20). Elsevier.
- <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818172-0.00001-3>.
- Mumme, S. P. (1988). *Apportioning groundwater beneath the U.S.-Mexico border: Obstacles and alternatives* (Research Report Series number 45). Center for U.S.-Mexican Studies.
- <https://lccn.loc.gov/88623404>.
- Oklahoma Water Resources Board. (2012a). *Oklahoma comprehensive water plan: Executive report*. <https://journalrecord.com/wp-files/ocwp-executive-rpt-final.pdf>.
- Oklahoma Water Resources Board. (2012b). *Oklahoma comprehensive water plan: Lower Arkansas watershed planning region report* (Version 1.1).

- https://www.owrb.ok.gov/supply/ocwp/pdf_ocwp/WaterPlanUpdate/regionalreports/OCWP_LowerArkansas_Region_Report.pdf↗.
- Renken, R. A. (1998). *Ground water atlas of the US - Segment 5: Arkansas, Louisiana, Mississippi* (Hydrologic Investigations Atlas 730-F). US Geological Survey.
<https://pubs.usgs.gov/ha/730f/report.pdf>↗.
- Rodriguez, L. L. (2022a). Map of the geographic extent of the transboundary Hueco Bolson, Conejos Medanos Messilla Bolson, Red Light Draw, and Rio Grande aquifers underlying the US and Mexico border.
- Rodriguez, L. L. (2022b). Map showing Mexico-USA border area where in the late 1960s, Mexico installed wells just south of the border near the town of San Luis reversing the natural flow of groundwater so that it flowed southward into Mexico.
- Rodriguez, L. L. (2022c). Map of the geographic extent of the transboundary Pedro Basin Aquifer.
- Rodriguez, L. L. (2022d). Map of the geographic extent of the transboundary Mimbres aquifer.
- Ryder, P. D. (1996). *Ground water atlas of the US: Segment 4 - Oklahoma, Texas* (Hydrologic Investigations Atlas 730-E). US Geological Survey.
<https://pubs.usgs.gov/ha/730e/report.pdf>↗.
- Sultan, M., Manocha, N., Becker, R., & Sturchio, N. (2004). Paleodrainage networks of the Nubian aquifer system revealed from SIR-C and SRTM data. *American Geophysical Union (AGU) Spring Meeting, May 2004* (Abstract H31C-03). AGU.
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2004AGUSM.H31C..03S>↗.
- Sydykov, G. S., & Veselov, V.V. (1993). Water ecological situation changes of the Aral Sea Basin under the influence of intensive agricultural development. In Y. Eckstein & A. Zaporozec (Eds.), *Proceedings of Industrial and Agricultural Impacts on the Hydrologic Environment: The Second USA/CIS Joint Conference on Environmental Hydrology and Hydrogeology*. Water Environment Federation.
- Tujchneider, O., Perez, M. A., Paris, M. C., & D'Elia, M. P. (2003, November). The Guarani aquifer system: A resource shared by four countries. In *Geological Society of America Annual Meeting, Seattle, November 2-5, 2003*, Paper No. 67-11, Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 35, no. 6, p. 198
- United Nations Economic and Social Commission for Western Asia (UN-ESCWA) & Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Federal Institute for Geosciences and Natural Resources] (BGR). (2013). Saq-Ram Aquifer System (West). In *Inventory of Shared Water Resources in Western Asia* (pp. 297-316). Beirut.
https://www.unescwa.org/sites/default/files/pubs/pdf/e_escwa_sdpd_13_inventory_e.pdf↗.

United Nations General Assembly (UNGA). (2022). Resolution on the Law of Transboundary Aquifers. *Journal of the United Nations*, A/RES/77/112.

<https://undocs.org/Home/Mobile?FinalSymbol=A%2FRES%2F77%2F112&Language=E&DeviceType=Desktop&LangRequested=False>↗.

United Nations General Assembly (UNGA). (2008). Resolution on the Law of Transboundary Aquifers. *Journal of the United Nations*, A/RES/63/124.

http://internationalwaterlaw.org/documents/intldocs/UNGA_Resolution_on_Law_of_Transboundary_Aquifers.pdf↗.

United Nations International Law Commission. (2008). *Draft articles on the Law of Transboundary Aquifers*. United Nations.

https://legal.un.org/ilc/texts/instruments/english/draft_articles/8_5_2008.pdf↗.

Woessner, W. W. (2020). *Groundwater-surface water exchange*. The Groundwater Project.

<https://gw-project.org/books/groundwater-surface-water-exchange/>↗.

9 Respostas dos Exercícios

Ao responder a essas perguntas, os leitores devem estar cientes de que não existem respostas absolutamente corretas ou incorretas. Questões de responsabilidade e reparação dos danos segundo a lei—tanto as leis nacionais quanto o direito internacional—estão sujeitas a limiares abaixo dos quais a responsabilidade pode ou não ser atribuída. Assim, aqueles que argumentam a violação da lei devem demonstrar que o impacto transfronteiriço é de tal magnitude que se caracteriza o nexo necessário para estabelecer a responsabilidade pela reparação dos danos. Além disso, a decisão sobre se o limiar foi superado—por exemplo, ao estabelecer que o dano é significativo ou que o uso não é equitativo—geralmente é situacional e depende dos fatos específicos de cada caso. Assim, enquanto um certo nível de poluição pode ser passível de ação em um cenário—como uma bacia de fluxo lento, onde a dispersão e redução das concentrações são limitadas—pode não ser passível de ação em outra situação—como em uma bacia de fluxo rápido, onde a dispersão e redução das concentrações são significativas.

Além disso, questões relacionadas ao limiar muitas vezes dependem da capacidade dos advogados de convencer o tribunal de sua posição e da receptividade desse tribunal a tais argumentos. No que diz respeito aos advogados, embora alguns possam ter formações e experiências semelhantes, suas habilidades de defesa, conhecimento da ciência das águas subterrâneas, compreensão dos fatos e consequências, e outros fatores podem variar significativamente. Quanto aos tribunais, embora se espere que sejam imparciais, cada juiz traz suas experiências únicas e sua compreensão da ciência, da lei e da vida, o que pode resultar em diferentes perspectivas sobre onde se encontra a linha do limiar em um caso específico.

Assim, as respostas a seguir são apenas exemplos e não representam toda a gama de circunstâncias com potencial para impactos transfronteiriços, alegações de possível responsabilidade que as partes poderiam levantar ou ações que poderiam ser adotadas para evitar a obrigação de reparar os danos.

Resposta do Exercício 1

A resposta para o Exercício 1 é apresentada em três partes:

1. o campo de poços de Dawon ao longo de sua fronteira oeste;
2. o plano de Byakko para desenvolver um campo de poços ao norte de sua região de oásis; e
3. as práticas agrícolas de Maahe.

Para cada um desses cenários, o leitor foi solicitado a realizar três tarefas::

- a) identificar as circunstâncias que têm potencial para gerar impactos transfronteiriços;
- b) caracterizar essas circunstâncias em termos de potencial de responsabilidade e/ou obrigação de reparar os danos; e
- c) considerar ações que tomadas pelas partes individuais contribuem para evitar a responsabilidade pelos danos.

1. O campo de poços de Dawon ao longo de sua fronteira oeste

- a) Identificar as circunstâncias que têm potencial para impactos transfronteiriços.
 - O campo de poços de Dawon ao longo de sua fronteira oeste parece ter um impacto transfronteiriço, pois a extração de água está causando o desvio da água subterrânea em um raio de 50 km ($\approx$ 31 milhas) em direção ao campo de poços. Isso inclui a direção de Byakko, onde os fluxos de água subterrânea estão sendo desviados de seu caminho natural devido à extração. Além disso, os fatos sugerem que os oásis em Byakko estão sendo negativamente afetados—por exemplo, com a redução da extensão geográfica e impactos na fauna nativa.
- b) Caracterizar essas circunstâncias em termos de potencial de responsabilidade e/ou obrigação de reparar os danos.
 - A extração de água por Dawon pode ser a base para uma reivindicação de Byakko contra Dawon, argumentando que:
 - Dawon está retirando mais do que sua justa parte da água subterrânea do aquífero compartilhado, especialmente debaixo de Byakko; e/ou
 - A extração de água por Dawon está causando danos a Byakko.
 - Algumas das questões jurídicas que poderiam ser levantadas sobre a definição da responsabilidade e o eventual dever de reparar os danos incluem qual a quantidade de água subterrânea a que cada nação tem direito; qual padrão deve ser utilizado para avaliar a justiça na distribuição da água subterrânea de um aquífero compartilhado; e qual padrão e limite devem ser usados para avaliar se houve danos decorrentes da extração de água por Dawon.

- No entanto, dependendo de como essas questões são abordadas, a responsabilidade não necessariamente vai implicar na necessidade de reparar os danos. Dawon pode ser considerado responsável por causar um impacto em Byakko, mas pode não ser obrigado a repará-lo, a menos que esse impacto ultrapasse o limiar específico da norma que está sendo aplicada.
 - Por exemplo, Dawon pode não ser considerado responsável por violar a norma jurídica internacional de uso equitativo e razoável — se um tribunal determinar a relevância dessa norma para o caso — a menos que os fatores usados para avaliar essa norma estabeleçam que a extração de água por Dawon foi inequitativa e irrazoável.
 - Da mesma forma, Dawon pode não ser considerado responsável por causar danos significativos — se um tribunal determinar a relevância dessa norma para o caso — a menos que o tribunal conclua que os danos causados a Byakko, ao segmento do aquífero subjacente a Byakko, à água subterrânea em Byakko, e aos oásis em Byakko e sua vida selvagem excederam o limiar significativo ou qualquer outro limiar que o tribunal determine como o padrão relevante.
- c) ações que tomadas pelas partes individuais contribuem para evitar a responsabilidade pelos danos.
 - A cooperação é tipicamente o principal meio para que as partes evitem a responsabilidade pelo danos causados. Se as partes concordarem com determinadas ações, quaisquer resultados negativos dessas ações — pelo menos em teoria — poderiam ser incorporados e reconhecidos no acordo de cooperação
 - Por exemplo, as partes poderiam concordar que a extração atual de água por Dawon, que causa o fluxo transfronteiriço de águas subterrâneas, é aceitável e não constitui uma violação do direito internacional.
 - Ou, poderiam concordar que Dawon reduza sua extração de água em uma determinada quantidade para diminuir os impactos transfronteiriços negativos em Byakko. É claro que isso teria um impacto negativo na extração de Dawon, mas isso seria considerado no acordo de cooperação.
 - Da mesma forma, as partes poderiam cooperar em estudos para entender melhor o impacto transfronteiriço da extração de água por Dawon. Poderiam até mesmo concordar que Dawon forneça água para a cidade de Byakko, em vez de desenvolver um novo campo de poços em Byakko.
 - O fundamental é que as partes cooperem para definir ações e responsabilidades de maneira que estabeleçam padrões aceitáveis de cooperação, acordem nas ações que cada Estado deve tomar e, em última instância, evitem a responsabilização pelos danos.

2. O plano de Byakko para desenvolver um campo de poços ao norte de sua região de oásis.

- a) Identifique as circunstâncias que têm potencial para impactos transfronteiriços.
- O campo de poços proposto por Byakko parece ser uma preocupação para Dawon, pois seus hidrogeólogos sugerem que a extração de água poderia impactar negativamente a produtividade do campo de poços de Dawon. Embora, ainda não existam estudos sobre o impacto, uma simples revisão do mapa sugere que é possível que o campo de poços proposto por Byakko possa desviar água subterrânea do campo de poços de Dawon. Além disso, o campo de poços proposto também poderia afetar os oásis em ambos os países.
- b) Caracterize essas circunstâncias em termos de potencial responsabilidade e/ou reparação de danos.
- Considerando o impacto potencial sobre Dawon, a análise apresentada na resposta sobre o impacto transfronteiriço na questão 1b) também se aplicaria de forma semelhante nesta situação.
 - No entanto, as questões de equidade, razoabilidade, limiar de dano e outros padrões seriam distintas no cenário apresentado, na medida em que agora ambas as nações estariam bombeando e utilizando o aquífero, gerando efeitos transfronteiriços.
 - Em relação ao impacto nos oásis localizados inteiramente dentro de Byakko, a questão estaria sob a jurisdição nacional e as leis domésticas de Byakko, não se submetendo, portanto, a reivindicações sob o direito internacional. Quanto ao possível impacto nos oásis em Dawon, embora Dawon possa propor uma queixa válida sob o direito internacional, essa queixa seria atenuada pelo fato de que o bombeamento de Dawon também afeta negativamente os oásis.
- c) Considere ações nas quais as partes individuais possam evitar a responsabilidade pelos danos.
- Conforme mencionado na resposta sobre o impacto transfronteiriço do campo de poços de Dawon, um acordo sobre as atividades e responsabilidades poderia evitar a responsabilidade por reparar ou compensar danos para ambas as nações
 - Por meio desses acordos, as nações podem decidir o que poderia ser considerado um impacto transfronteiriço negativo aceitável—por exemplo, responsabilidade sem obrigação de reparação ou compensação. Além disso, pode ser benéfico combinar os esforços cooperativos para incluir as questões e preocupações relacionadas ao campo de poços existente de Dawon e ao campo de poços proposto por Byakko.

3. As práticas agrícolas de Maahes

- a) Identifique as circunstâncias que têm potencial para impactos transfronteiriços.
- As ações de Maahes têm potencial para dois diferentes tipos de impacto transfronteiriço:
 - Primeiro, o uso de fertilizantes e pesticidas modernos por Maahes na zona de recarga do aquífero pode ter efeitos negativos na qualidade da água que flui através do aquífero. Isso certamente dependerá da quantidade e dos tipos de produtos químicos utilizados em suas práticas agrícolas, bem como da capacidade do aquífero de diluir esses produtos químicos. No entanto, já surgiram reclamações tanto em Byakko quanto em Dawon.
 - Segundo, a construção, por Maahes, de várias pequenas barragens e reservatórios de retenção de água com fundos impermeabilizados para evitar vazamentos é uma ação com possíveis consequências transfronteiriças. A implicação aqui é que, ao reter a água em Maahes, o país está reduzindo a recarga do aquífero, o que diminui a disponibilidade de água a jusante."
- b) Caracterize essas circunstâncias em termos de potencial responsabilidade e/ou reparação de danos.
- Em relação às ações de Maahes, tanto o impacto na qualidade quanto na quantidade da água estaria sujeitos à mesma análise discutida na parte 1(b). No entanto, assim como aquela análise explicou que questões de equidade, razoabilidade, limiar de dano, e outros padrões seriam adaptados aos cenários específicos, o mesmo se aplica aqui
 - Assim, no caso dos supostos impactos transfronteiriços na qualidade da água, mesmo que sejam reconhecidos por Byakko, Dawon ou por um tribunal como poluição transfronteiriça, isso não seria automaticamente julgado como um uso inequitativo, irrazoável e/ou causador de dano significativo. Na verdade, as circunstâncias do uso de fertilizantes e pesticidas modernos por Maahes — como a necessidade de expandir suas atividades agrícolas, o impacto dessa atividade, as alternativas aos fertilizantes e pesticidas modernos, entre outros fatores — teriam que ser avaliadas. Isso também ocorreria em relação às circunstâncias do uso do aquífero por Byakko e Dawon, por exemplo, a qualidade da água subterrânea em relação aos usos desejados, entre outros aspectos. Quanto aos possíveis impactos na quantidade de água em Byakko e Dawon, a mesma análise adaptada se aplicaria.
 - Uma complicação que surgiria neste caso diz respeito ao fato de que Maahes não está utilizando o aquífero diretamente e, de acordo com os fatos, não pode fazer uso econômico ou significativo da água subterrânea do aquífero. Na

verdade, o problema está nas atividades de Maahes na zona de recarga. Assim, este não é um caso em que as partes possam simplesmente alocar um volume de água para cada país. Além disso, é um caso em que outros campos do direito internacional podem ser relevantes, como o direito internacional ambiental e o direito de responsabilidade do Estado — ambos além do escopo deste livro.

- c) Considere ações nas quais as partes individuais possam evitar a responsabilidade pelos danos
- Mais uma vez, a cooperação é essencial para lidar com esses cenários e minimizar a responsabilidade. Considerando que as consequências transfronteiriças das ações de Maahes não foram investigadas e que nenhum dos Estados possui, individualmente, os recursos para explorar essa situação, talvez as partes possam colaborar em um estudo. Claro, Maahes pode não estar entusiasmado em descobrir os resultados desse estudo. Portanto, pode ser do interesse de Byakko e Dawon explorar outras alternativas para apoiar os objetivos agrícolas de Maahes.
 - Os acordos internacionais não precisam se concentrar exclusivamente em uma única questão. Na verdade, as negociações entre as nações muitas vezes incorporam questões e tópicos que, à primeira vista, têm pouco a ver entre si (por exemplo, aumento dos fluxos de entrada em um trecho de rio transfronteiriço em troca de restrições reduzidas ao comércio transfronteiriço em outra área fronteiriça)."

[Retorne ao Exercício 1](#) ↑

[Retorne para onde o texto está vinculado ao Exercício 1](#) ↑

Resposta do Exercício 2

A resposta do Exercício 2 é apresentada em duas partes:

1. A emergente indústria de mineração de Cadland, e
2. Os campos de poços de Arcadia e Brosnia.

Para cada um desses cenários, o leitor foi solicitado a realizar três tarefas:

- a) identificar as circunstâncias que têm potencial para impactos transfronteiriços;
- b) caracterizar as circunstâncias em termos de responsabilidade e/ou reparação de danos; e
- c) considerar ações nas quais as partes individuais possam evitar a responsabilidade pelos danos.

1. A emergente indústria de mineração de Cadland

- a) Identificar as circunstâncias que têm potencial para impactos transfronteiriços
 - A proposta de Cadland de expandir sua indústria de mineração certamente pode ser uma fonte de conflito legal com seus vizinhos a jusante. No entanto, um dos desafios neste cenário é que Cadland tem apenas 'planos de expandir' sua indústria de mineração, mas ainda não o fez. Como resultado, as ações de Cadland ainda não resultaram em nenhum impacto transfronteiriço. É claro que Arcadia e Brosnia não gostariam de esperar que o dano se manifeste antes de apresentarem suas reivindicações; entretanto, elas teriam que estabelecer a probabilidade de que sofreriam danos transfronteiriços decorrentes das ações propostas por Cadland, de uma magnitude que resultaria em responsabilidade para Cadland. Esse pode ser um obstáculo difícil de superar: a probabilidade de que o dano ocorrerá.
 - De qualquer forma, assumindo que Arcadia e Brosnia possam apresentar tais reivindicações, as ações propostas por Cadland poderiam potencialmente resultar em quatro impactos transfronteiriços distintos a jusante sobre a qualidade da água, e quatro sobre a quantidade de água. O primeiro impacto relacionado à qualidade da água é no campo de poços recentemente desenvolvido por Brosnia."

Nesse trecho, logo abaixo da tríplice fronteira, o Rio Zini é um rio influente, ou seja, ele alimenta o aquífero adjacente. Assim, qualquer poluente encontrado no rio provavelmente será transferido para o aquífero e para o campo de poços de Brosnia, contaminando, assim, a água subterrânea que Brosnia bombeia.

- No entanto, a extensão da poluição nessa água subterrânea dependerá do tipo e da quantidade de poluição de mineração que Cadland despejar no Rio Zini em seu território, da capacidade do Rio Zini de diluir esses poluentes antes de atingir a região da tríplice fronteira, e da capacidade de

purificação do aquífero para remover os poluentes restantes na água que flui do Rio Zini para o aquífero e, em seguida, para o campo de poços de Brosnia.

- O primeiro impacto relacionado à quantidade de água também ocorre no novo campo de poços de Brosnia. Logo abaixo da tríplice fronteira, o Rio Zini é um rio influente, por isso qualquer redução no fluxo do rio pode reduzir o volume de água que infiltra do Zini para o aquífero. Isso, por sua vez, pode baixar o nível freático nesse aquífero predominantemente livre e diminuir o volume de água disponível para Brosnia em seu novo campo de poços.
 - Assim, mesmo que a qualidade da água não fosse afetada, ainda poderia haver uma preocupação com a quantidade de água para Brosnia.
- O segundo possível impacto transfronteiriço a jusante na qualidade da água diz respeito ao novo campo de poços de Arcadia. Nesse trecho do Rio Zini, o rio é um curso d'água efluente. No entanto, à medida que o campo de poços de Arcadia se desenvolve, devido à sua proximidade com o Rio Zini, é possível que o bombeamento possa reverter esse fluxo, transformando-o em um curso d'água influente, ou seja, que perde água para o aquífero dentro da área de influência do campo de poços.
 - Se isso ocorrer, quaisquer poluentes presentes no rio podem ser transferidos para o aquífero e para as bombas de Arcadia.
 - Considerando que este trecho está mais a jusante em comparação com o campo de poços de Brosnia, é plausível que o impacto seja menor do que o impacto no campo de poços de Brosnia. A extensão do impacto dependerá de fatores semelhantes aos identificados para o campo de poços de Brosnia."
- Um segundo impacto na quantidade de água, ainda que menos provável, poderia afetar negativamente o campo de poços de Arcadia. Conceitualmente, é possível que o bombeamento em Arcadia transforme o Rio Zini de um rio efluente para um rio influente dentro da área de influência do campo de poços, mas que depois seja impactado pela redução do fluxo no Rio Zini devido às atividades de mineração de Cadland.
 - Isso dependerá da taxa de extração de água subterrânea por Arcadia no seu campo de poços, do grau em que o bombeamento de Arcadia altera o regime de fluxo do Rio Zini e do quanto as atividades de Cadland reduzem o fluxo de água no Rio Zini.
- O terceiro possível impacto relacionado à qualidade da água é no Pântano de Xênia, onde a deterioração da qualidade da água devido às atividades de mineração de Cadland poderia ter um impacto negativo na fauna única do pântano.

- A extensão do impacto dependerá da quantidade e do tipo de poluição de mineração que Cadland despejar no Rio Zini em seu território, da capacidade do Rio Zini de diluir esses poluentes antes de atingir o Pântano de Xênia, e da capacidade do pântano de absorver esses poluentes sem impactar negativamente a fauna. Pântanos e outras áreas úmidas geralmente têm alguma capacidade de absorver e diluir certos poluentes.
 - Da mesma forma, as atividades de mineração de Cadland poderiam reduzir a quantidade de água que chega ao Pântano de Xênia e, assim, impactar negativamente a fauna do pântano. A extensão do impacto dependerá do quanto as atividades de Cadland reduzirem o fluxo de água que alcança o pântano.
 - Impactos adicionais na qualidade e quantidade da água não foram destacados no exemplo hipotético, mas podem ser deduzidos a partir dos fatos. O trecho do Rio Zini localizado logo abaixo da tríplice fronteira poderia sofrer algum grau de degradação da qualidade da água e redução da quantidade de água devido às atividades de mineração de Cadland. Assim, todos os usuários do rio poderiam ser afetados em diferentes graus.
- b) Caracterize essas circunstâncias em termos de potencial responsabilidade e/ou reparação de danos
- Tanto Arcadia quanto Brosnia podem ter reivindicações relacionadas à qualidade e à quantidade de água contra Cadland pelos efeitos a jusante de suas atividades de mineração. Se seus campos de poços, ou qualquer segmento a jusante do Rio Zini, forem de fato afetados pelas atividades de Cadland, ambos poderiam alegar que:
 - 1) Cadland está retirando mais do que sua parte justa da água do rio; e
 - 2) A mineração de Cadland está causando danos transfronteiriços a ambas as nações a jusante.
 - Algumas das questões legais que podem surgir em termos de definição de responsabilidade e reparação de danos incluem: quanta água subterrânea e água do rio cada nação tem direito de usar, qual padrão deve ser utilizado para avaliar a equidade na alocação de água subterrânea de um aquífero compartilhado e de água de um rio compartilhado, e qual padrão e limiar devem ser utilizados para avaliar se o dano resultou ou é provável que resulte das atividades de Cadland.
 - No entanto, dependendo de como essas questões forem abordadas, a responsabilidade pode não equivaler a obrigação de reparar os danos. Cadland pode ser considerada responsável por causar impacto em uma ou ambas as nações a jusante, mas pode não ser obrigada a reparar ou compensar esses

impactos, a menos que ele supere o limiar específico para a norma que está sendo aplicada.

- Assim, por exemplo, Cadland pode não ser responsabilizada por violar a norma jurídica internacional de uso equitativo e razoável — se um tribunal determinar a relevância dessa norma para o caso — a menos que os fatores usados para avaliar essa norma estabeleçam que as extrações de água por parte de Cadland foram inequitativas e irrazoáveis em relação aos direitos equivalentes de Arcadia e Brosnia.
- Da mesma forma, Cadland pode não ser responsabilizada por causar danos significativos — se um tribunal determinar a relevância dessa norma para o caso — a uma ou ambas as nações a jusante, a menos que o tribunal conclua que o dano causado (por exemplo, a Arcadia e/ou Brosnia, ao segmento do aquífero subjacente a uma ou ambas as nações a jusante, à água subterrânea em Arcadia e/ou Brosnia, ao Pântano de Xênia e sua fauna, e assim por diante) excedeu o limiar significativo, ou qualquer limiar que o tribunal determine como sendo o padrão relevante.

c) Considerar ações nas quais as partes individuais possam evitar a responsabilidade pelos danos

- Dado que as ações de Cadland relacionadas à sua indústria de mineração ainda estão em fase de proposta, seria aconselhável que Arcadia e Brosnia se envolvessem em um diálogo com Cadland para buscar um acordo que pudesse minimizar os impactos a jusante.
 - Assim, Arcadia e Brosnia poderiam tentar negociar com Cadland sobre seus planos e objetivos, explorar se há alternativas aos planos de Cadland, identificar mecanismos que poderiam minimizar os impactos a jusante e discutir como Arcadia e/ou Brosnia poderiam se engajar com Cadland para alcançar seus respectivos objetivos e interesses.
 - Além disso, eles poderiam concordar com um limiar de impacto a jusante que seria aceitável para as partes e que não geraria reivindicações de responsabilidade.
- Tudo isso pode parecer óbvio e possivelmente do interesse de todas as partes. No entanto, como cada nação tem direito à sua soberania dentro de seu respectivo território e porque o direito internacional é uma função da política internacional, tais negociações e diplomacia são ao mesmo tempo essenciais e desafiadoras.

2. Campos de poços de Arcadia e Brosnia

a) Identifique as circunstâncias que têm potencial para impactos transfronteiriços

- Como uma questão totalmente distinta, os novos campos de poços tanto de Arcadia quanto de Brosnia poderiam ter impactos negativos a jusante no Rio Zini e no Pântano de Xênia.
 - Embora o campo de poços de Brosnia esteja no segmento influente do rio, dependendo de sua taxa de retiradas, Brosnia poderia acelerar o fluxo de água do rio para o aquífero e em direção ao seu campo de poços. Isso reduziria o volume de água mais a jusante e o fluxo de água para o Pântano de Xênia.
 - De maneira semelhante, dependendo de sua taxa de extração, se Arcadia reverter a relação de ganho do Rio Zini dentro da área de influência de seu campo de poços e convertê-la em uma relação de perda, isso também poderia afetar o volume de água que chega ao Pântano de Xênia através do Rio Zini.

b) Caracterize essas circunstâncias em termos de potencial responsabilidade e/ou reparação de danos.

- Tanto Brosnia quanto Arcadia poderiam ter reivindicações uma contra a outra por potenciais impactos no Pântano de Xênia. Além disso, como o campo de poços de Brosnia está mais a montante do que o de Arcadia, é possível que Arcadia possa ter uma reivindicação contra Brosnia por reduzir o fluxo de água no Rio Zini a montante do pântano.
- Semelhante aos argumentos contra Cadland, as duas nações poderiam alegar que cada uma está retirando mais do que sua parte justa da água do rio ao desviá-la por meio de seus respectivos campos de poços, e que o resultado é um dano transfronteiriço.
 - Quanto à questão do dano, no caso da reivindicação de Arcadia, ela pode ser capaz de argumentar que Brosnia causou dano tanto aos trechos inferiores do Rio Zini quanto ao pântano em seu lado da fronteira, enquanto Brosnia provavelmente só poderia argumentar que Arcadia causou dano ao pântano em seu lado da fronteira, com base no mapa simples fornecido no exemplo hipotético.
 - É claro que, se fatos adicionais indicarem que o bombeamento de Arcadia está esgotando significativamente o Rio Zini a montante do Pântano de Xênia, então Brosnia pode ter uma reivindicação contra Arcadia pelo impacto na quantidade de água no Rio Zini.
 - Tudo isso dependerá da extensão das extrações de cada país e de seu impacto no Rio Zini e no pântano."

- Ao tratar dessas questões, as mesmas perguntas jurídicas mencionadas acima — por exemplo, direito ao uso da água, padrões para avaliar a equidade na alocação de água, padrão e limiar para avaliação de danos — se aplicariam igualmente aqui, embora em relação aos fatos específicos e ao contexto dessas reclamações.
- c) Considere ações nas quais as partes individuais possam evitar a responsabilidade pelos danos
- Como sugerido para a relação entre Arcadia e Brosnia e seu vizinho a montante, Cadland, Arcadia e Brosnia poderiam se engajar em cooperação mútua em relação aos seus respectivos objetivos e interesses relacionados à expansão da produção de água, à gestão do Rio Zini, que forma a fronteira, e à gestão do Pântano de Xênia, que compartilham. Isso poderia incluir compartilhamento de dados, monitoramento, projetos conjuntos e outras ações colaborativas.
 - O ponto-chave, mais uma vez, é fazer com que as partes cooperem para definir ações e responsabilidades de maneiras que estabeleçam padrões aceitáveis de cooperação, acordem sobre as ações que cada Estado tomará e, em última análise, evitem ter que reparar ou compensar danos.

[Retorne ao Exercício 2](#) ↗

[Retorne para onde o texto está vinculado ao Exercício 2](#) ↗

10 Sobre os Autores



Gabriel Eckstein é um especialista internacionalmente reconhecido em direito e política internacional e comparada de águas e meio ambiente, com mais de 30 anos de experiência em consultoria, ensino e pesquisa nessas áreas. Na Texas A&M University, ele atua como professor de direito e diretor do Programa de Direito de Energia, Meio Ambiente e Recursos Naturais da faculdade de direito. Dr. Eckstein regularmente assessora agências da ONU, governos nacionais e subnacionais, ONGs e outros grupos sobre questões internacionais e dos EUA relacionadas à água e ao meio ambiente. Ele atuou como president da International Water Resources Association, e atualmente faz parte do conselho executivo da International Association for Water Law, além de ser editor associado da Brill Research Perspectives: International Water Law, e membro do conselho editorial do The Journal of Water Law. Ele serviu como presidente da *International Water Resources Association* e atualmente faz parte do conselho executivo da *International Association for Water Law*, além de ser editor associado da *Brill Research Perspectives: International Water Law* e membro do conselho editorial do *The Journal of Water Law*. O Dr. Eckstein possui título de Doutor em Direito, Mestrado em Direito Ambiental Internacional, Mestrado em Assuntos Internacionais e uma Graduação em Geologia.



Yoram Eckstein foi um especialista internacionalmente reconhecido em hidrogeologia, geotermia e contaminação de águas subterrâneas, com mais de 50 anos de experiência em consultoria, ensino e pesquisa nesses campos. Antes de sua aposentadoria em 2013, ele foi professor de geologia na *Kent State University*, presidente e cientista-chefe da empresa de consultoria *Eckstein & Associates*, e editor associado da *Water International* e do *Journal of Hydrogeology*. Depois disso, ele serviu por um ano como Professor Sênior Fulbright de hidrogeologia na *Tomsk Polytechnic University*, em *Tomsk*, Rússia. Anteriormente, o Dr. Eckstein atuou como geólogo sênior no *Geological Survey of Israel*. Ele era fluente e publicava profissionalmente em quatro idiomas (inglês, polonês, russo e hebraico) e possuía um PhD da *Hebrew University* em Jerusalém. Ele faleceu em junho de 2020.

11 Sobre o Tradutor



Pilar Carolina Villar é professora no Instituto do Mar da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), Campus Baixada Santista, onde leciona disciplinas de direito ambiental e gestão de recursos hídricos nos cursos de Bacharelado Interdisciplinar em Ciências do Mar, Engenharia Ambiental e Engenharia de Petróleo. Também é docente credenciada no Programa de Pós-graduação Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia do Mar. Advogada com mestrado e doutorado em Ciência Ambiental e pós-doutorado pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, atua

nas áreas de gestão e governança de recursos hídricos. Publicou diversos artigos, livros e capítulos de livros sobre direito das águas e governança, além de colaborar como consultora em projetos relacionados à gestão integrada dos recursos hídricos da Bacia do Prata e do Aquífero Guarani. Em parceria com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), desenvolveu cursos e materiais didáticos voltados à capacitação no Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, com foco em direito das águas e governança das águas subterrâneas, destacando-se os livros “Direito de Águas à luz da Governança” e Governanças das Águas Subterrâneas: Caminhos e Desafios”. De 2022 a 2024, integrou o conselho de diretores da International Water Resources Association (IWRA), com contribuições voltadas ao fortalecimento de iniciativas para a América Latina e Caribe.

Por favor, considere inscrever-se na lista de e-mails do Projeto GW para ficar informado sobre novos lançamentos de livros, eventos e maneiras de participar. Quando você se inscreve em nossa lista de e-mails, isso nos ajuda a construir uma comunidade global de águas subterrâneas. [Inscreva-se](#) .

